



TESIS-TI142307

**PENGEMBANGAN MODEL PENJADWALAN
PENANAMAN MEMPERTIMBANGKAN ROTASI
TANAMAN PADA PERTANIAN PERKOTAAN**

**VIRHANTY ERNITA SUKMA P
2512203201**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG MANAJEMEN LOGISTIK DAN RANTAI PASOK
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**



THESIS-TI142307

DEVELOPMENT OF PLANTING SCHEDULING MODEL CONSIDERING CROP ROTATION ON URBAN FARMING

**VIRHANTY ERNITA SUKMA P
2512203201**

SUPERVISOR

Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP

MASTER PROGRAM

LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2015

**PENGEMBANGAN MODEL PENJADWALAN PENANAMAN
MEMPERTIMBANGKAN ROTASI TANAMAN PADA
PRODUK PERTANIAN PERKOTAAN**

**Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)**

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

VIRHANTY ERNITA SUKMA PRATIWI

NRP. 2512203201

**Tanggal Ujian
Periode Wisuda**

**: 16 Januari 2015
: Maret 2015**

Disetujui oleh Tim Penguji Tesis:

**1. Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP
NIP. 196811091995031003**

(Pembimbing)

**2. Prof. Ir. I Nyoman Puiawan, M.Eng., Ph.D., CSCP
NIP. 196901071994121001**

(Penguji)

**3. Dr. Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng.
NIP. 197405171999031002**

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana

**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT
NIP. 196404051990021001**



PENGEMBANGAN MODEL PENJADWALAN PENANAMAN MEMPERTIMBANGKAN ROTASI TANAMAN PADA PERTANIAN PERKOTAAN

Nama Mahasiswa : Virhanty Ernita Sukma P.
NRP : 2512203201
Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng.CSCP

ABSTRAK

Perencanaan produksi produk pertanian tidak hanya tergantung oleh ketepatan merencanakan waktu tanam dan jumlah tanaman yang dipanen, namun juga perlu diperhatikan aspek ekologi yang selama ini selalu dianggap tidak memiliki peran penting. Aspek ekologi dalam perencanaan produksi mempengaruhi produktivitas lahan garapan yang digunakan sebagai media penanaman. Selain itu, aspek ekologi juga mampu mendukung sistem pertanian berkelanjutan. Pertanian perkotaan menjadi salah satu upaya dalam memanfaatkan lahan terbatas pada perkotaan sebagai lahan pertanian. Keterbatasan kapasitas lahan menjadi kendala bagi para petani pertanian perkotaan untuk memenuhi permintaan.

Penelitian ini telah dikembangkan model penjadwalan penanaman mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan. Rotasi tanaman harus memenuhi batasan ekologi yaitu tanaman dalam satu botanic famili tidak boleh ditanam secara bergilir, dan harus adanya periode pemberaan lahan. Model yang telah dikembangkan selanjutnya diuji dengan beberapa skenario diantaranya perubahan waktu permintaan, peningkatan dan penurunan tingkat permintaan, peningkatan dan penurunan produktivitas lahan, serta peningkatan dan penurunan kapasitas lahan. Hasil uji skenario menunjukkan bahwa produktivitas lahan menjadi faktor yang paling sensitif. Model yang telah dikembangkan selanjutnya dapat menjadi instrumen bagi pengelola *agri food supply chain* dalam mengoptimalkan penggunaan lahan pertanian perkotaan yang terbatas sehingga didapatkan keuntungan yang maksimal.

Kata Kunci: rotasi tanaman, pertanian perkotaan, perencanaan produksi



DEVELOPMENT OF PLANTING SCHEDULING MODEL CONSIDERING CROP ROTATION ON URBAN FARMING

Name : Virhanty Ernita Sukma P.
NRP : 2512203201
Supervisor : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng.CSCP

ABSTRACT

Planning the production of agricultural products is not only dependent on the accuracy of planning the planting time and number of plant harvested, but also to consider the ecological aspect which has always been considered to have an important role. Ecological aspects in production planning affects the productivity of arable land that is used as a planting medium. In addition, the ecological aspect is also capable of supporting sustainable farming systems. Urban farming become one of its efforts in utilizing limited land as agricultural land. The limited capacity of the land becomes an obstacle for farmers to meet the demand of urban farming.

This research has been developed planting scheduling model considering crop rotation on urban farming. Crop rotation must meet ecological constraints that the plants in the same botanic family should not be planted in sequence, and there should be one fallow period in each rotation. The developed model was tested with several scenarios including a change in demand, the increase and decrease in the level of demand, the increase and decrease in land productivity, and increase and decrease the capacity of the land. The test results show that land productivity become the most sensitive factor. The model can be further developed into an instrument for agri-food supply chain managers in optimizing the use of limited land on urban farming to get the maximum benefit.

Keywords: crop rotation, urban farming, production planning

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkah dan rahmat yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tesis yang berjudul “Pengembangan Model Penjadwalan Penanaman Mempertimbangkan Rotasi Tanaman pada Produk Pertanian Perkotaan” dengan baik. Laporan Tesis ini ditulis untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan jenjang pendidikan program pascasarjana (S2) Jurusan Teknik Industri ITS.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu dan memberi semangat dalam menyelesaikan penulisan laporan ini, antara lain:

1. Keluarga besar, Ayahanda Agus Sukmadjaja dan Ibunda Novita Satya Samayanti, Eyang kakung, Eyang Putri serta saudara-saudara semuanya (Kak Rista, Adek Yandi, dan Mas Ariel) yang selalu memberi doa dan motivasi.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP selaku dosen pembimbing yang telah memberi arahan, masukan, nasihat, dan bimbingan selama pengerjaan Tesis ini.
3. Bapak Dr. Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng., selaku Sekretaris Program Studi Pascasarjana Jurusan Teknik Industri ITS.
4. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D., CSCP, Dr. Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng., selaku dosen penguji yang telah memberi banyak masukan dan saran demi perbaikan Laporan Tesis ini.
5. Bapak ibu dosen serta karyawan Jurusan Teknik Industri ITS.
6. Teman-teman satu angkatan (Winda, Eka, Anggi, Mas Yudi, Mbak Mae, Bang Didi, Mas Aan, Mbak Herlina) atas segala semangat, motivasi, dukungan, dan kebersamaannya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini.
7. Fiqihesa Putamawa dan Mbak Mimin yang telah sangat membantu dan memberikan pelatihan *software* LINGO sehingga penulis dapat menyelesaikan uji kasus pada penelitian Tesis ini.

8. Teman-teman tersayang Briyan, dan Arini yang telah banyak memberikan dukungan terutama di saat penulis sedang dalam kesulitan.
9. Teman-teman S2 Teknik Industri ITS (angkatan 2012 dan 2013) atas segala kekeluargaan, kebersamaan, dan segala kenangan indah yang telah kita ukir bersama.
10. Serta seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu dalam tulisan ini, yang telah membantu dalam penyelesaian Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam menyusun Laporan Tesis ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran dan masukan yang membangun sangat penulis butuhkan demi kesempurnaan Laporan Tesis ini. Semoga Laporan Tesis ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi dalam memperkaya ilmu pengetahuan demi kemajuan bangsa.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

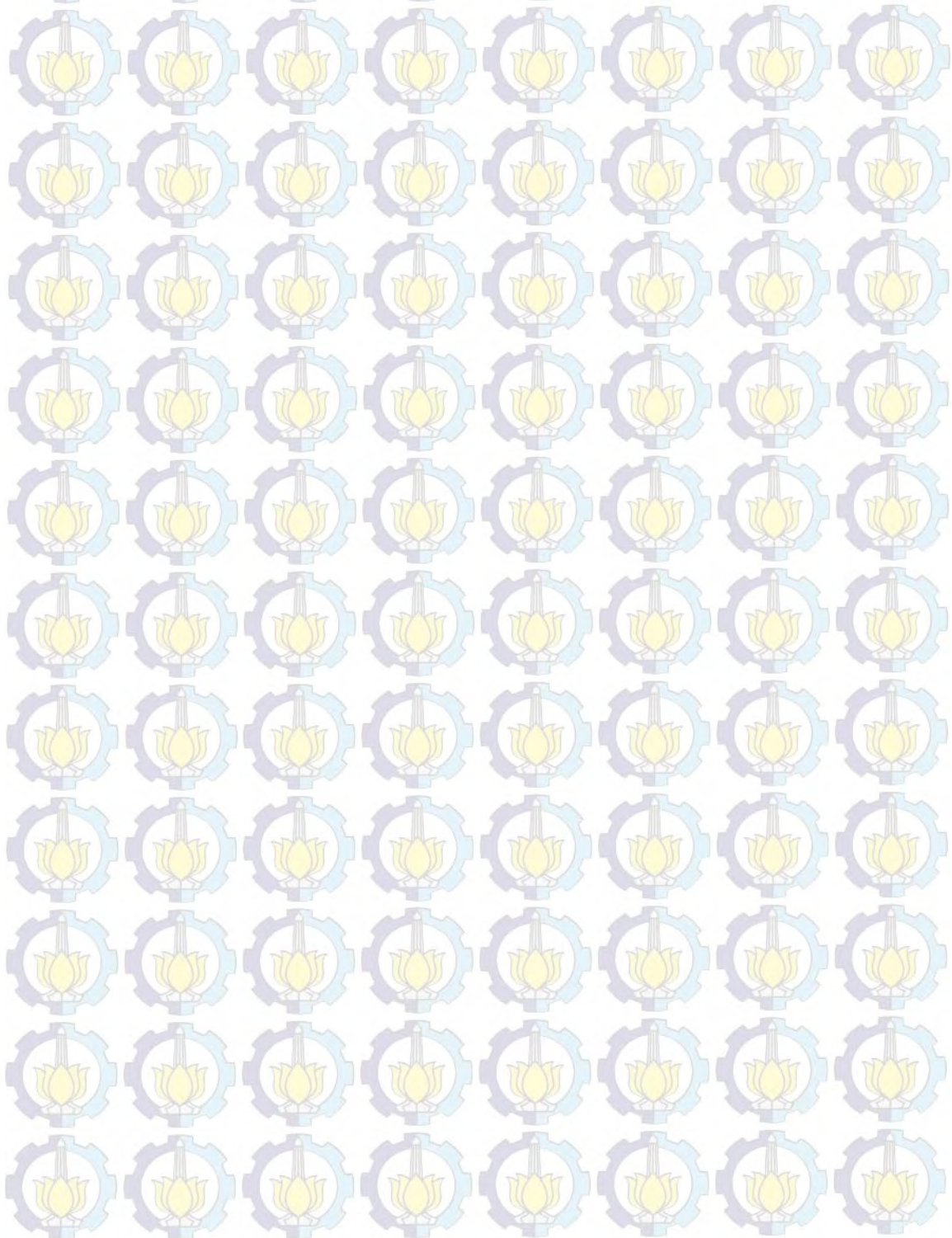
HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
 BAB 1. PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	6
1.4.1 Batasan Penelitian	6
1.4.2 Asumsi Penelitian	7
1.5. Manfaat Penelitian	7
1.6. Sistematika Penulisan	7
 BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	 9
2.1. <i>Agrifood Supply Chain</i>	9
2.2. Produk Pertanian Segar	11
2.3. Pertanian Perkotaan (<i>Urban Farming</i>)	13
2.4. Rotasi Tanaman	16
2.5. <i>Critical review</i>	20
 BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	 27
3.1. Pengembangan dan Formulasi Model	27
3.2. Percobaan Numerik dan Analisis	28
3.3. Penarikan Kesimpulan dan Saran	29

BAB 4. PENGEMBANGAN MODEL	31
4.1. Deskripsi Permasalahan	31
4.2. Formulasi Model	33
4.2.1 Notasi Model	34
4.2.2 Modifikasi Fungsi Tujuan	35
4.2.3 Modifikasi Fungsi Kendala	37
4.3. Formulasi Bahasa LINGO	39
4.3.1 Verifikasi Model LINGO	39
BAB 5. PERCOBAAN NUMERIK DAN ANALISIS	43
5.1. Parameter Percobaan Numerik	43
5.2. Percobaan Numerik	45
5.2.1 Percobaan Numerik 1	45
5.2.2 Percobaan Numerik 2	50
5.2.3 Percobaan Numerik 3	57
5.2.4 Percobaan Numerik 4	63
5.3. Analisis Hasil Percobaan Numerik 1,2,3,dan 4	69
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN	71
6.1. Kesimpulan	71
6.2. Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	75
Contoh Jadwal Penanaman Hasil <i>Running</i> LINGO	75
BIODATA PENULIS	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Rangkuman <i>Critical Review</i> Penelitian Terdahulu	25
Tabel 3.1. Rencana Skenario Percobaan Numerik Yang Akan Dilakukan	28
Tabel 4.1. Botanic Family, Periode Tanam, dan Waktu Produksi Tanaman i Uji Verifikasi	39
Tabel 4.2. Harga Jual Tanaman i Uji Verifikasi.....	39
Tabel 4.3. Tingkat PermintaanTanaman i Uji Verifikasi	39
Tabel 4.4. Parameter Uji Verifikasi.....	40
Tabel 4.5. Jadwal Rotasi Tanaman Uji Verifikasi.....	40
Tabel 4.6. Solusi Perhitungan Manual Terbaik	40
Tabel 5.1. Percobaan Numerik dan Tujuannya	43
Tabel 5.2. Parameter Percobaan Numerik.....	44
Tabel 5.3. Data Botanic Family, Periode Tanam, Waktu Produksi, dan Tingkat Permintaan Tanaman Percobaan Numerik.....	44
Tabel 5.4. Matriks Parameter Produktivitas Lahan Percobaan Numerik	44
Tabel 5.5. Harga Jual Tanaman Percobaan Numerik.....	45
Tabel 5.6. Perubahan Tingkat Permintaan Percobaan Numerik 1.....	45
Tabel 5.7. Jadwal Penanaman <i>Baseline</i>	46
Tabel 5.8. Jadwal Penanaman Uji Coba 1 Percobaan 1	48
Tabel 5.9. Perubahan Tingkat Permintaan Percobaan Numerik 2.....	51
Tabel 5.10. Jadwal Penanaman Uji Coba 1 Percobaan 2	52
Tabel 5.11. Jadwal Penanaman Uji Coba 2 Percobaan 2	53
Tabel 5.12. Jadwal Penanaman Uji Coba 3 Percobaan 2	55
Tabel 5.13. Jadwal Penanaman Uji Coba 4 Percobaan 2	56
Tabel 5.14. Perubahan Produktivitas Lahan (p_{irk})	58
Tabel 5.15. Jadwal Penanaman Uji Coba 1 Percobaan 3	59
Tabel 5.16. Jadwal Penanaman Uji Coba 2 Percobaan 3	60
Tabel 5.17. Jadwal Penanaman Uji Coba 3 Percobaan 3	61
Tabel 5.18. Jadwal Penanaman Uji Coba 4 Percobaan 3	62
Tabel 5.19. Perubahan Kapasitas Lahan Percobaan 4.....	64

Tabel 5.20. Jadwal Penanaman Uji Coba 1 Percobaan 4.....	65
Tabel 5.21. Jadwal Penanaman Uji Coba 2 Percobaan 4.....	66
Tabel 5.22. Jadwal Penanaman Uji Coba 3 Percobaan 4.....	67
Tabel 5.23. Jadwal Penanaman Uji Coba 4 Percobaan 4.....	68



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Representasi skematis <i>agri-food supply chain</i> (Matopoulus, dkk, 2007)	10
Gambar 2.2. Quality Loss Produk Sayuran Segar (Osvald&Stirn, 2008)	12
Gambar 2.3. Contoh Jadwal Rotasi Tanaman	17
Gambar 2.4. Contoh Klasifikasi Rotasi Tanaman (Clarke, dkk, 200).....	18
Gambar 3.1. <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	30
Gambar 4.1. Proses Bisnis <i>agri-food supply chain</i> Pertanian Perkotaan	32
Gambar 4.2. Hasil <i>Running Software</i> LINGO Uji Verifikasi.....	41
Gambar 5.1. Komposisi Pendapatan <i>Baseline</i>	46
Gambar 5.2. Komposisi Pendapatan Uji Coba 1 Percobaan 1	47
Gambar 5.3. Perbandingan Komposisi Pendapatan Percobaan 1	50
Gambar 5.4. Komposisi Pendapatan Uji Coba 1 Percobaan 2	51
Gambar 5.5. Komposisi Pendapatan Uji Coba 2 Percobaan 2	53
Gambar 5.6. Komposisi Pendapatan Uji Coba 3 Percobaan 2	54
Gambar 5.7. Komposisi Pendapatan Uji Coba 4 Percobaan 2	55
Gambar 5.8. Perbandingan Persentase Keuntungan dan Biaya Percobaan 2	57
Gambar 5.9. Komposisi Pendapatan Uji Coba 1 Percobaan 3	58
Gambar 5.10. Komposisi Pendapatan Uji Coba 2 Percobaan 3	59
Gambar 5.11. Komposisi Pendapatan Uji Coba 3 Percobaan 3	60
Gambar 5.12. Komposisi Pendapatan Uji Coba 4 Percobaan 2	61
Gambar 5.13. Perbandingan Persentase Keuntungan dan Biaya Percobaan 3 ...	63
Gambar 5.14. Komposisi Pendapatan Uji Coba 1 Percobaan 4	64
Gambar 5.15. Komposisi Pendapatan Uji Coba 2 Percobaan 4	65
Gambar 5.16. Komposisi Pendapatan Uji Coba 3 Percobaan 4	66
Gambar 5.17. Komposisi Pendapatan Uji Coba 4 Percobaan 4	67
Gambar 5.18. Perbandingan Persentase Keuntungan dan Biaya Percobaan 4 ...	68

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab 1 ini akan dipaparkan mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian yang akan dicapai, ruang lingkup permasalahan yang meliputi batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian, manfaat yang ingin dicapai, serta sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang

Konsep kolaborasi dalam *supply chain* tumbuh karena adanya kesadaran bahwa bekerja secara individual tidak cukup untuk mengatasi permasalahan persaingan global dan untuk mencapai tujuan yang lebih menguntungkan (Wagner, dkk, 2002). Kolaborasi adalah mengenai sekumpulan organisasi dan perusahaan bekerja sama dalam konsep membangun hubungan komersial yang tidak biasa. Namun bagaimanapun, kolaborasi dalam *supply chain* tidak selalu dengan mudah dapat dicapai. Meskipun keterbatasan dalam pertukaran data dan informasi yang dibutuhkan sudah terjembatani oleh kemajuan teknologi dan informasi serta pengembangan aplikasi e-bisnis. *Supply Chain Management* adalah integrasi dari proses bisnis utama dalam melayani konsumen (Chandrasekaran & Raghuram, 2014). Menurut Caldhon & Fearne (2005), fokus pada kebanyakan artikel kolaborasi *supply chain* adalah perusahaan multinasional besar, sementara kurang mengangkat *supply chain* pada industri pertanian. Pada kenyataannya, di negara maju sekarang ini sedang dituntut untuk meningkatkan produksi pertanian dalam rangka menanggapi pertumbuhan permintaan pangan global yang mencapai 70% pada tahun 2050 (Nelson, dkk, 2010 & FAO, 2009). Selain itu, produk pertanian merupakan produk *perishable* yang memerlukan penanganan khusus sebelum sampai ketangan konsumen. Penelitian mengenai kolaborasi *supply chain* dalam industri pertanian menjadi menarik karena karakteristik produk pertanian yang unik (*high perishability*) (Wang & Li, 2012).

Dalam industri pertanian, konsep *Supply Chain Management* baru mulai diterapkan 10 tahun terakhir. Beberapa permasalahan kondisi nyata yang memicu pengadopsian konsep SCM kedalam sektor pertanian antara lain pertumbuhan

industri produksi agrikultur yang cepat, oligopoli pada sektor distribusi pangan, kemajuan teknologi informasi dan komunikasi, kesadaran masyarakat dan pemerintah atas regulasi keamanan pangan, dan munculnya bentuk retailer-retailer modern (Tsoulakidis, dkk, 2014). Karakteristik unik *agrifood supply chain* yang membedakan dengan *traditional network* menurut Van der Vorst (2009) adalah *perishability*, operasional produksi dan pemanenan yang bersifat musiman, keragaman kualitas (bentuk, warna, rasa) dan kuantitas (tergantung produktivitas lahan dan adanya resiko kegagalan panen), kebutuhan yang spesifik atas transportasi dan sistem penyimpanan, kewajiban dalam memenuhi regulasi dan kebijakan keamanan pangan dan kesehatan masyarakat serta lingkungan, dll. Atas dasar karakteristik tersebut, pengelolaan *agrifood supply chain* menjadi semakin kompleks, sehingga diperlukan adanya manajemen rantai pasok produk pertanian yang mampu meningkatkan daya saing dan kinerja rantai pasok.

Agrifood supply chain pada penelitian ini terdiri dari petani, *Head Quarter*, dan retailer. *Head Quarter* merepresentasikan *Urban Farming Center* yang berperan sebagai pusat pengelola pertanian perkotaan. *Urban Farming Center* mendapat informasi tingkat permintaan dari retailer yang kemudian dijadikan dasar peramalan permintaan. Hasilnya akan dibuat sebagai acuan menjadwalkan penanaman. Pembibitan dilakukan oleh UFC yang kemudian dikirim pada petani untuk ditumbuhkan. Hasil panen dijual ke UFC dan petani akan menerima kembali bibit dari UFC untuk ditumbuhkan. Dengan sistem *agrifood supply chain* yang baru ini diharapkan terjadi kolaborasi yang baik antara petani dengan retailer. Petani tidak merugi karena kelebihan atau kekurangan produksi, sedangkan retailer dapat meminimasi biaya persediaan namun tetap menjaga *service level* perusahaan.

Pengembangan strategi global yang efektif dan tepat bagi penanganan produk pangan untuk memenuhi permintaan konsumen yang dibarengi dengan semakin meningkatnya perubahan gaya hidup masyarakat, menjadi permasalahan yang kompleks dan menantang dalam sektor pertanian. Faktor-faktor ketidakstabilan dalam pasokan produk pertanian diantaranya cuaca dan kondisi alam yang tidak menentu, permintaan pangan global yang bersifat stokastik, penggunaan produk pangan alternatif, dan ketidakstabilan harga komoditas

produk pertanian (Tsolakis, dkk, 2014). Sektor pertanian sebagai salah satu sektor yang menjadi perhatian dalam Uni Eropa, memiliki implikasi signifikan bagi sistem keberlanjutan. Diantara implikasi tersebut adalah pemenuhan kebutuhan masyarakat, dukungan dalam ketenaga kerjaan, kemakmuran ekonomi melalui pertumbuhan ekspor, dampak lingkungan, penanggulangan kemiskinan dan pertumbuhan pasar baru seperti yang dilansir oleh *United Nations Industrial Development Organization* (Hunfrey & Memedovic, 2006). Salah satu hambatan yang paling penting dalam sektor produk pertanian adalah kompleksitas dan efisiensi biaya terkait dengan operasi dalam rantai pasok. Jaringan global produk pertanian membutuhkan pendekatan manajemen rantai pasok multi-tier karena meningkatnya aliran informasi dan material pada hulu maupun hilir sistem rantai pasok (Tsolakis, dkk, 2014).

Konsep pertanian modern muncul dalam rangka pemenuhan kebutuhan pangan nasional. Pada prinsipnya pertanian modern bertujuan untuk meningkatkan produksi pertanian dengan bertumpu pada pasokan eksternal berupa bahan kimia (pupuk dan pestisida). Hal tersebut menjadi dilematis karena dianggap tidak memperhitungkan dampak lingkungan dan mutu produk pertanian itu sendiri. Namun konsep tersebut telah beralih, dimana saat ini pertanian modern juga membahas mengenai bagaimana optimalisasi usaha tani untuk menghasilkan bahan pangan yang bermutu, baik kualitas maupun kuantitas. Peningkatan teknologi pertanian juga termasuk didalamnya sebagai usaha agar pertanian berjalan lebih efektif dan efisien. Diantara teknologi pertanian tersebut adalah pemanfaatan lahan dalam perkotaan sebagai area pertanian.

Pertanian perkotaan (*urban farming*) merupakan salah satu solusi dalam menghadapi permasalahan pemenuhan pangan di kawasan perkotaan. Pertanian perkotaan didefinisikan sebagai aktivitas atau kegiatan di bidang pertanian yang dilakukan di dalam maupun pinggiran kota dengan tujuan untuk memproduksi, memelihara, mengolah, dan mendistribusikan beragam produk pangan dan non-pangan, dengan memanfaatkan atau menggunakan kembali sumber daya manusia, material, produk, dan jasa di daerah perkotaan (Smith dkk, 1996; dan FAO, 1999). Suryandari (2010) menganalisa dampak positif pertanian perkotaan bagi penduduk kota dan kehidupan kota yang berkelanjutan, serta mengetengahkan isu

dan tantangan pertanian kota di Indonesia. Pengelolaan pertanian perkotaan dapat memberi keuntungan yang maksimal dikarenakan pengiriman kepada konsumen lebih cepat dibanding pertanian pedesaan. Selain itu, dari faktor lingkungan, dengan adanya pertanian perkotaan akan meningkatkan kualitas lingkungan perkotaan. Namun kapasitas lahan menjadi kendala bagi para petani pertanian perkotaan untuk memenuhi permintaan. Oleh sebab itu, perlu adanya perencanaan yang baik agar produk pertanian dapat sampai ketangan konsumen dengan waktu dan jumlah yang tepat.

Produk pertanian, khususnya sayur-sayuran, di Indonesia memiliki potensi sebagai produk komoditas ekspor. Namun, hal tersebut tidak akan tercapai jika produk sayuran di Indonesia belum memberikan jaminan kualitas, pasokan, dan ketepatan waktu pengiriman (Hadiguna & Marimin, 2007). Kendala utama produk pertanian adalah karakteristik sebagai produk *perishable* dimana memiliki *shelf-life* yang pendek. Kualitas produk pertanian terus menurun sejak mulai dipanen dan rentan terhadap kehilangan (*loss*). Oleh karena itu, diperlukan penanganan khusus dari segi transportasi dan distribusi maupun sistem penyimpanannya agar kualitas produk pertanian dapat terjaga hingga ke tangan konsumen. Selain itu, keputusan operasional juga penting diperhatikan yaitu perencanaan produksi yang termasuk penjadwalan penanaman dan panen. Perencanaan produksi produk pertanian menjadi penting karena terkait dengan penentuan kapan tanaman ditanam dan berapa jumlah tanaman yang dihasilkan sehingga dapat memenuhi permintaan. Merencanakan produksi produk pertanian tidak mudah karena adanya faktor eksternal seperti cuaca, kondisi tanah yang tidak seimbang, serangan penyakit pada tanaman, yang berdampak pada hasil panen.

Penelitian mengenai perencanaan produksi produk pertanian telah banyak dilakukan. Ahumada & Vilalobos (2011) mengembangkan model perencanaan penanaman yang mempertimbangkan ketersediaan lahan dan resiko produk gagal panen. Sedangkan Tan & Comden (2012) mengembangkan model perencanaan produksi dengan mempertimbangkan ketidakpastian waktu pematangan, produktivitas, dan tingkat permintaan. Namun, pada penelitian-penelitian tersebut belum menunjukkan model perencanaan produksi produk pertanian yang menunjang sistem pertanian berkelanjutan yang berorientasi pada faktor

lingkungan. Sistem pertanian berkelanjutan merupakan sistem pertanian yang berbasis ekologi, yang pada prinsipnya berusaha mengurangi tindakan-tindakan yang dapat merusak lingkungan. Konsep pertanian berkelanjutan sudah lama dicanangkan pada pertanian di negara-negara maju maupun berkembang atas dasar kesadaran masyarakat dan pemerintah akan keamanan pangan. Namun, belum banyak studi yang mengangkat konsep pertanian berkelanjutan kedalam sebuah model matematis perencanaan produksi produk pertanian. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pengembangan model perencanaan produksi yang mempertimbangkan konsep pertanian berkelanjutan.

Beberapa penelitian yang membahas mengenai konsep pertanian berkelanjutan dilakukan oleh Santos, dkk (2010 & 2011) dan Alfandari, dkk (2011). Santos, dkk (2010) mengembangkan model penjadwalan rotasi tanaman untuk memaksimalkan revenue yang diperoleh dengan mempertimbangkan batasan ekologi. Model ini berusaha menentukan luas plot optimal untuk merencanakan penjadwalan rotasi tanaman. Sedangkan Santos, dkk (2011) mengembangkan model penjadwalan rotasi tanaman dengan batasan ekologi yang memaksimalkan penggunaan lahan. Batasan ekologi yang digunakan yaitu tanaman dalam satu botanic famili tidak boleh ditanam secara bergilir, dan tanaman satu botanic famili tidak dapat ditanam bersamaan dalam plot yang berdekatan. Model yang dikembangkan Alfandari, dkk (2011) berusaha meminimumkan luas plot yang harus ditambahkan. Model perencanaan rotasi tanaman yang dibangun Alfandari, dkk (2011) ingin mengatasi permasalahan pembangunan perkebunan berkelanjutan.

Pada penelitian ini akan dikembangkan suatu model pertanian berkelanjutan, yaitu penjadwalan penanaman mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan dengan memperhatikan batasan ekologi, ketersediaan lahan garapan (*multi-arable land*), periode tanam, waktu produksi tanaman, yield tanaman, dan biaya. Rotasi tanaman menjadi faktor yang penting untuk desain dan implementasi dalam sistem pertanian berkelanjutan (Ball, dkk, 2005). Rotasi tanaman didefinisikan sebagai praktek penumbuhan tanaman secara bergilir/berotasi pada satu lahan yang sama (Bullock, 1992). Manfaat rotasi tanaman antara lain meningkatkan produksi tanaman, memperbaiki kesuburan

tanah, memelihara keseimbangan biologis, dan memperkecil kegagalan panen. Hal yang harus diperhatikan dalam merencanakan rotasi tanaman adalah karakteristik tanaman yang berbeda-beda. Setiap tanaman memiliki periode tanam, waktu produksi, dan waktu panennya sendiri. Selain itu, hasil produksi tanaman (*yield*) juga akan berpengaruh pada urutan jadwal rotasi tanaman.

Dari pemaparan tersebut akan dilakukan pengembangan suatu model penjadwalan penanaman mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan dengan memperhatikan batasan ekologi, ketersediaan lahan, periode tanam, waktu produksi, *yield* tanaman, dan biaya.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dipaparkan diatas dapat dibuat perumusan permasalahan untuk penelitian ini yaitu bagaimana pengembangan model penjadwalan penanaman mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan yang memperhatikan batasan ekologi, ketersediaan lahan garapan (*multi-arable land*), periode tanam, waktu produksi tanaman, *yield* tanaman, dan biaya.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh model penjadwalan penanaman mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan yang memperhatikan batasan ekologi, ketersediaan lahan garapan (*multi-arable land*), periode tanam, waktu produksi tanaman, *yield* tanaman, dan biaya.
2. Mengetahui hasil percobaan numerik dengan melakukan beberapa skenario dalam rangka menganalisis perilaku model.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian dibagi menjadi dua bahasan yaitu batasan penelitian dan asumsi yang digunakan pada penelitian.

1.4.1 Batasan Penelitian

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Batasan ekologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanaman satu botanic family tidak dapat ditanam secara bergilir dan adanya periode pemberaan lahan.
2. Data yang digunakan adalah data sekunder.
3. Penelitian dilakukan dengan satu eselon dalam konsep *agri food supply chain* yaitu petani dengan Urban Farming Center yang berperan sebagai penyedia bibit tanaman.
4. Tanaman yang digunakan sebagai objek pemodelan adalah sayur-sayuran.

1.4.2 Asumsi penelitian

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tingkat permintaan diasumsikan deterministik.
2. Lahan garapan bersifat homogen. Tanaman dapat tumbuh di lahan manapun.
3. Faktor cuaca tidak mempengaruhi hasil panen.
4. Produktivitas lahan tidak tergantung oleh lokasi lahan petani.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diberikan dari penelitian pengembangan model penjadwalan penanaman mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan ini adalah dapat mengisi gap penelitian dibidang *sustainable agriculture* khususnya mengenai rotasi tanaman.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut ini adalah beberapa langkah sistematis yang dilakukan dalam menyusun penelitian ini.

Bab 1 PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari penjelasan mengenai latar belakang masalah yang menjadi dasar penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian yang ingin dicapai, ruang lingkup yang meliputi batasan dan asumsi penelitian, manfaat yang akan dicapai dalam penelitian, serta sistematika penulisan.

Bab 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan beberapa referensi yang terkait dengan penelitian yang dilakukan yang diperoleh dari literatur, jurnal, dan teori sebagai acuan dalam proses pengembangan model. Referensi tersebut diantaranya memaparkan tentang *agri-food supply chain*, produk pertanian segar, pertanian perkotaan, dan rotasi tanaman.

Bab 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah sistematis yang akan dilakukan dalam menyelesaikan penelitian agar sesuai dengan *framework* penelitian yang telah dibangun.

Bab 4 PENGEMBANGAN MODEL

Pada bab ini akan dijelaskan pengembangan model penjadwalan penanaman mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan. Didalamnya akan diuraikan komponen permasalahan model serta formulasi model.

Bab 5 PERCOBAAN NUMERIK DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dilakukan serangkaian percobaan numerik untuk menguji model yang telah dikembangkan. Selain itu juga dilakukan beberapa scenario dengan mengubah parameter input untuk melihat dan menganalisis bagaimana perilaku model.

Bab 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan disimpulkan hal-hal terkait penelitian yang telah dilakukan. Serta diberikan saran perbaikan untuk penelitian selanjutnya.

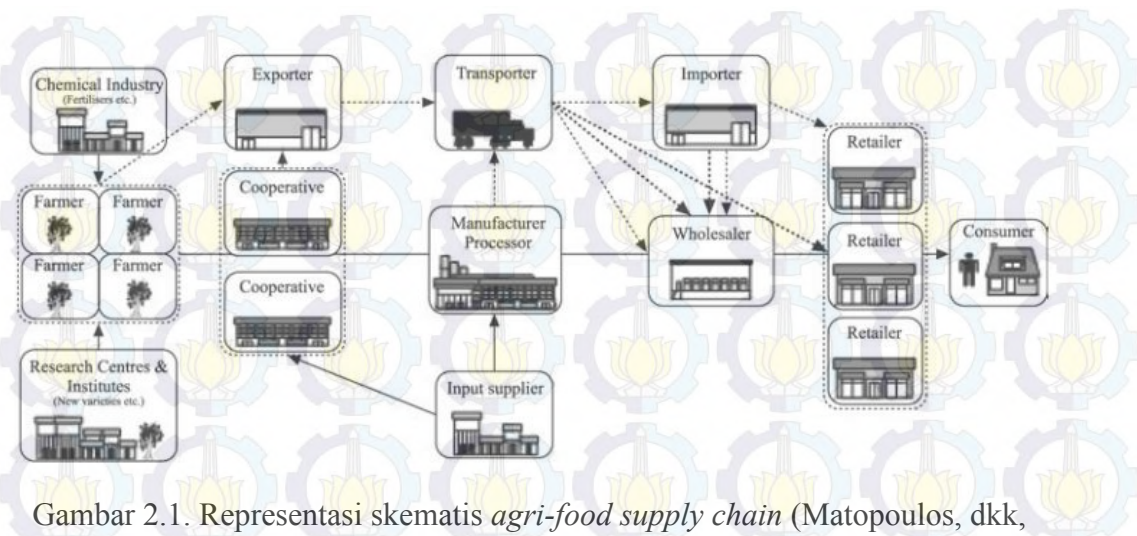
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan beberapa referensi yang terkait dengan penelitian yang dilakukan yang diperoleh dari literatur, jurnal, dan teori sebagai acuan dalam proses pengembangan model.

2.1 *Agrifood Supply Chain*

Secara umum, *agrifood supply chain* terdiri dari sekumpulan aktivitas yang mencakup pertanian (budidaya dan produksi tanaman), proses/produksi, pengujian, pengemasan, penggudangan, transportasi, distribusi, dan pemasaran (Iakovou, Vlachos, Achillas, & Anastasiadis, 2012). Dalam rantai pasok produk pertanian terdapat lima tipe aliran yaitu aliran material dan produk, aliran keuangan, aliran informasi, aliran proses, serta aliran energi dan sumber daya alam. Seluruh aktivitas, dan aliran tersebut terintegrasi ke dalam sekelompok pemain yang meliputi petani, organisasi agrikultur, manufaktur/industri, traders (importir/eksportir), wholesaler, retailer, dan konsumen (Jaffee, Siegel, & Andrews, 2010). Rantai pasok produk pertanian dibagi menjadi dua tipe, yaitu untuk produk segar (sayu-sayuran dan buah-buahan) dan produk olahan (jus, selai, makanan kaleng, dll). Produk segar merupakan produk yang dipasarkan tanpa adanya proses transformasi kimia, biasanya hanya dilakukan proses sortir, pencucian, dan pengemasan. Sedangkan produk olahan adalah produk yang telah melalui proses transformasi kimia dan perubahan bentuk dengan tujuan untuk memperpanjang masa hidup produk tersebut. Gambar 2.1 menunjukkan representasi skematis entitas-entitas potensial yang berpartisipasi dalam rantai pasok produk pertanian.



Gambar 2.1. Representasi skematis *agri-food supply chain* (Matopoulos, dkk, 2007)

Struktur industri produk pertanian dapat menjadi sangat kompleks yang mengakibatkan banyak interaksi yang terjadi (Matopoulos, dkk, 2004). Semakin banyak jumlah perusahaan yang ikut berpartisipasi dalam rantai pasok, tingkat permasalahan pertukaran informasi menjadi semakin rumit yang dapat menghambat kolaborasi rantai pasokan, misalnya tidak adanya sistem pertukaran informasi yang kompatibel (Matopoulos, dkk, 2007). Selain itu, permasalahan yang dihadapi dengan semakin panjangnya rantai pasokan produk pertanian adalah kemampuan produk pertanian bertahan sejak mulai dipanen hingga pengiriman dengan kualitas yang terus menurun. Manajemen pasca-panen adalah salah satu tantangan yang harus dihadapi oleh semua pemain dalam jaringan rantai pasok. Produk pertanian merupakan produk yang termasuk mudah rusak (*perishable*) secara alami dan kerugian yang disebabkan oleh kerusakan produk dapat terjadi karena berbagai faktor seperti kurangnya pengetahuan akan penanganan yang tepat, kurangnya fasilitas penyimpanan, dan ketidak mampuan pemain dalam rantai pasok untuk bekerja secara kolaboratif (Chandrasekaran & Raghuram, 2014)

Pengukuran kinerja pada rantai pasok produk pertanian lebih sulit jika dibandingkan dengan rantai pasok pada umumnya. Hal ini karena adanya perbedaan karakteristik yang membedakan rantai pasok produk pertanian dengan rantai pasok industri secara umum (Aramyan, dkk, 2007). Karakteristik utama yaitu kendala *shelflife* yang dimiliki produk pertanian, dimana untuk jenis sayur-

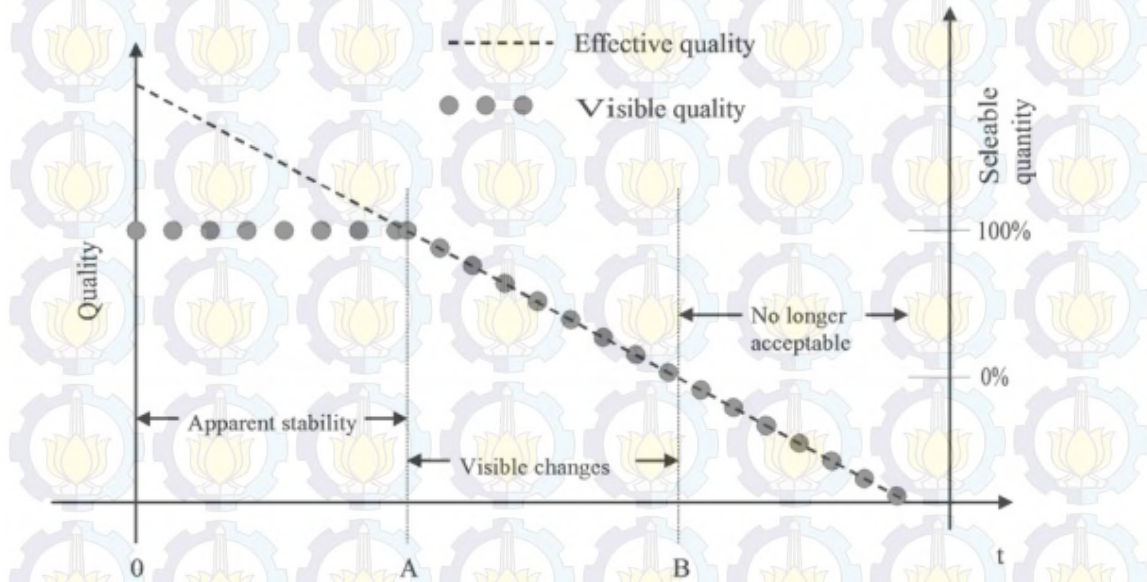
sayuran dan buah-buahan memiliki *shelflife* yang sangat pendek. Selain itu karakteristik lain misalnya proses penanaman, pertumbuhan, dan pemanenan yang tergantung pada iklim dan musim, hasil panen yang memiliki ukuran dan bentuk yang bervariasi, dan membutuhkan penanganan khusus untuk sistem transportasi dan penyimpanan karena sifatnya yang mudah rusak (Taufik dan Suharjitno, 2011).

Petani produk pertanian, seperti buah-buahan segar dan sayuran, sangat sering menghadapi masalah perencanaan yang kompleks seperti memutuskan jumlah tanaman yang harus ditanam, waktu menanam, dan memanen. Bagi petani penting untuk mempertimbangkan ketidakpastian pada harga dan yield khususnya bagi mereka yang beroperasi pada kondisi pasar terbuka. Harga produk mereka berbeda dengan harga produk industri pada umumnya, yang bervariasi sepanjang musim panen karena adanya efek *supply demand* dan kurangnya peluang menyimpan produk pertanian yang merupakan produk mudah rusak. Ketidakpastian tersebut sangat bergantung oleh faktor cuaca saat penanaman dan kondisi pasar (Lowe and Preckel, 2004). Oleh sebab itu, perlu adanya pengembangan model yang mampu secara sistematis menangkap permasalahan ketidakpastian yang sering terjadi ini.

2.2 Produk Pertanian Segar

Produk pertanian segar adalah produk yang dihasilkan oleh aktivitas budidaya pertanian, belum mengalami proses pengolahan yang berarti dan dipasarkan dalam bentuk sesuai dengan keadaannya di alam (Sufari, 1994). Umumnya produk pertanian memiliki karakteristik bulky, segar, dan mudah rusak (*perishable*). Kerusakan produk pertanian dapat disebabkan oleh faktor internal dan eksternal yang dapat mengakibatkan penurunan mutu secara kuantitatif maupun kualitatif. Hal lain yang berpengaruh terhadap fluktuasi dan kontinuitas produksi produk pertanian adalah hasil pertanian yang musiman. Kerusakan produk pertanian sering kali terjadi pada masa pasca panen. Gambar 2.2 memperlihatkan bagaimana penurunan kualitas produk sayuran yang hilang sepanjang waktu. Untuk itu perlu adanya penanganan pasca panen demi mempertahankan kualitas dan kuantitas produk pertanian hingga sampai ke tangan

konsumen. Penanganan produk pasca panen yang sederhana untuk produk pertanian segar adalah pencucian, sortasi dan grading, dan pengemasan.



Gambar 2.2 *Quality Loss* Produk Sayuran Segar (Osvald & Stirn, 2008)

Pada Gambar 2.2, titik $t=0$ merupakan kondisi waktu optimal produk sayuran. Sayuran baru saja dipanen pada titik ini. Selama periode pertama (periode antara $t=0$ hingga $t=A$), kualitas produk sayuran berada pada kondisi stabil. Penurunan kualitas pada periode *apparent stability* ini terjadi namun tidak menimbulkan perubahan yang nampak (tidak berubah signifikan secara fisik). Pada titik $t=A$, perubahan kualitas produk sayuran mulai terlihat. Produk sayuran berkurang kualitasnya secara fisik dan selama periode kedua yaitu antara $t=A$ sampai $t=B$. Perubahan terus terjadi sampai pada titik dimana produk sayuran tidak dapat dikonsumsi sama sekali ($t=B$). Periode waktu dari titik $t=0$ sampai $t=B$ merupakan umur produk. Penting sekali untuk memaksimalkan penjualan produk sayuran pada periode waktu tersebut untuk mengurangi produk sampai pada titik $t=B$ dan produk tidak dapat dijual.

Petani produk pertanian segar sering dihadapkan dengan permasalahan perencanaan yang kompleks seperti menentukan teknologi seperti apa yang harus diterapkan, berapa banyak tanaman yang harus ditanam, dan waktu penanaman serta pemanenan yang tepat (Ahumada & Vilalobos, 2011). Permasalahan tersebut akan semakin kompleks dengan adanya tujuan tertentu yang ingin dicapai seperti

mamaksimalkan total produksi, meminimalkan tenaga kerja yang dipekerjakan, atau meminimalkan total kehilangan yang disebabkan oleh pengiriman produk yang terlalu matang. Penentuan lokasi lahan pertanian dan infrastruktur merupakan perencanaan strategis yang dibuat oleh petani. Sedangkan pada level operasional, perencanaan jangka pendek meliputi penentuan produksi (penanaman dan pemanenan) dan distribusi selama masa panen. Menurut Tan & Comden (2012), keputusan perencanaan produksi pada produk pertanian dilakukan beberapa bulan sebelum adanya permintaan aktual, dengan hampir tidak adanya fleksibilitas untuk meningkatkan pasokan. Kuantitas produksi sendiri sangat dipengaruhi oleh kondisi eksternal seperti cuaca, ketersediaan air, dan kondisi tanah.

2.3 Pertanian Perkotaan (*Urban Farming*)

Pertanian perkotaan, didefinisikan sebagai aktivitas atau kegiatan dibidang pertanian yang dilakukan didalam maupun pinggiran kota dengan tujuan untuk memproduksi/memelihara, mengolah, dan mendistribusikan beragam produk pangan dan non-pangan, dengan memanfaatkan atau menggunakan kembali sumberdaya manusia, material, produk, dan jasa di daerah perkotaan (Smith dkk, 1996; dan FAO, 1999). *Food and Agriculture Organization* (2003), menyatakan pertanian perkotaan sebagai salah satu sumber sistem *supply* pangan dan merupakan sebuah pilihan dalam ketahanan pangan pada rumah tangga perkotaan, sebagai salah satu sumber pendapatan dan kesempatan kerja bagi penduduk perkotaan, dan sebagai salah satu kegiatan produktif untuk memanfaatkan ruang terbuka dan limbah perkotaan. Dari segi strategi pengembangan pertanian perkotaan berkelanjutan, Sampeliling, dkk (2012) menyatakan pertanian perkotaan merupakan hasil interaksi dari faktor luas pekarangan, pengembangan komoditas dan teknologi pertanian ramah lingkungan, penyuluhan dan kelembagaan pertanian, perluasan lahan/ruang usaha tani, kerkasama antar *stakeholders*, dan pemberian insentif/kompensasi. Oleh karena itu, pertanian perkotaan menjadi suatu sistem potensial dalam pengembangan usaha tani yang berbasis agibisnis dan berwawasan lingkungan.

Pertanian perkotaan memberikan dampak positif dari segi keamanan pangan dan nutrisi, aspek ekonomi, dan aspek sosial (Suryandari, 2010). Kualitas produk pertanian perkotaan (khususnya sayur-mayur) yang merupakan produk *perishable* (mudah rusak) mengungguli produk pedesaan karena tingkat kerusakan yang lebih rendah. Petani pertanian perkotaan dapat mengirim produknya segera setelah mereka panen, sehingga kesegaran produk tetap terjaga. Selain itu, sistem transportasi yang digunakan tidak menggunakan banyak pergantian moda transportasi yang menyebabkan potensi kontaminasi yang tinggi, sehingga dari segi keamanan pangan lebih baik. Dari aspek ekonomi, petani pertanian perkotaan memperoleh keuntungan yang tidak lebih sedikit dari petani pedesaan. Meskipun produksi mereka terbatas oleh luas lahan, mereka dapat memperoleh keuntungan dengan mengurangi biaya pada transportasi dan distribusi. Produk mereka yang terjamin kesegaran dan kualitasnya memberi peluang bersaing dalam harga jual dengan produk pedesaan. Selain itu, pertanian perkotaan membuka peluang bagi industri mikro di kawasan perkotaan, seperti industri pengolahan pangan, pengemasan, serta pemasaran. Adanya pertanian perkotaan dapat memberi kesempatan lapangan pekerjaan bagi masyarakat sekitar. Pertanian perkotaan merupakan strategi dalam pengurangan kemiskinan, dimana tidak hanya dalam hal pemenuhan kebutuhan pangan, namun juga dalam hal penyerapan tenaga kerja. Enciety (2011) menyatakan bahwa selain memberi kontribusi dalam ketahanan pangan, aktivitas pertanian perkotaan dapat menambah penghasilan masyarakat dan sebagai sarana rekreasi serta belajar.

Seperti telah disebutkan bahwa pertanian perkotaan dapat menjadi salah satu sumber pasokan bagi penduduk perkotaan. Meskipun tidak diharapkan bahwa hasil produksinya dapat memenuhi kebutuhan seluruh penduduk kota, namun sistem ini memberi peluang dalam mengakses makanan yang berkualitas dan aman dengan mempertahankan kesegaran serta menghindari kenaikan harga pangan. Dengan adanya pertanian perkotaan, produk pertanian perkotaan ini memiliki keunggulan dalam ketepatan waktu distribusi karena jarak tempat produksi dan pasar yang dekat dibanding dengan pertanian pedesaan. Selain itu, harga produk juga dapat dikendalikan karena biaya transportasi dan distribusi

yang kecil. Produk pertanian perkotaan biasanya didistribusikan langsung pada pedagang eceran makanan seperti supermarket, restoran, dan pasar terbuka.

Keterbatasan pada lahan yang digunakan berimplikasi pada total pasokan untuk memenuhi permintaan. Dalam hal ini petani pertanian perkotaan dituntut untuk secara kreatif mengolah dan memanfaatkan lahan yang tersedia. Beberapa petani menggunakan lahan pada atap gedung, penanaman hidroponik, dan penanaman bertingkat untuk meningkatkan hasil produksi mereka. Adapun beberapa tantangan yang harus dihadapi oleh petani pertanian perkotaan dibanding dengan pertanian pedesaan adalah sebagai berikut:

1. Kebutuhan air

Kendala yang mungkin terjadi pada ketersediaan air di perkotaan adalah biaya pengadaan yang mahal atau tidak ada air sama sekali. Sistem irigasi menjadi hal yang menantang jika infrastrukturnya tidak tepat. Sumber air yang terbatas, atau pembuatan saluran air dapat menyebabkan biaya tambahan yang tidak sedikit. Mendapatkan akses untuk pengairan menjadi hal yang harus diperhatikan secara khusus ditempat-tempat dengan pembatasan penggunaan air.

2. Kondisi tanah

Tanah merupakan salah satu hal krusial yang perlu dipertimbangkan oleh petani pertanian perkotaan. Langkah yang perlu dilakukan adalah melakukan pengujian pada tanah apakah tanah tersebut berpotensi untuk produksi pangan. Petani melakukan hal tersebut untuk menentukan jenis tanah yang cocok dan layak sebagai media pertumbuhan tanaman. Namun pengadaan pengujian tanah tersebut memakan biaya yang tidak sedikit. Maka dari itu, petani dituntut kreatif dalam menangani masalah kondisi tanah ini. Salah satu metode alternatif yang digunakan jika kondisi tanah tidak memungkinkan untuk produksi pangan, adalah hidroponik. Selain itu, kasus yang terjadi di Indonesia adalah akses untuk mendapatkan tanah yang sulit. Pemerintah daerah dan perencana kota belum menyadari potensi pertanian kota. Mereka akan lebih memikirkan memanfaatkan tanah kosong untuk membangun pusat perbelanjaan dan apartemen.

3. Sumber dana

Sebagian besar operasional pada pertanian perkotaan memiliki keterbatasan dalam sumber daya keuangan yang membatasi kemampuan mereka dalam memproduksi tanaman, mempekerjakan tenaga kerja, ataupun melakukan perbaikan untuk sistem pertanian dan kebun mereka.

Hanya setengah dari petani di negara bagian New York City yang melaporkan memiliki anggaran yang berimbang, dengan pendapatan yang berasal dari penjualan produk serta hibah.

4. Polusi udara

Membangun pertanian dalam kota berarti menyandingkan tanaman dengan aktivitas kota yang menghasilkan polusi udara lewat kendaraan bermotor. Sebuah penelitian menemukan beberapa titik pertanian kota seperti di kawasan Jakarta dan Tangerang yang mungkin tanamannya menyerap kandungan metal dari udara disekitarnya.

2.4 Rotasi Tanaman

Rotasi tanaman didefinisikan sebagai praktek penumbuhan tanaman dengan urutan tertentu dalam satu lahan yang sama (Bullock, 1992). Rotasi sendiri diartikan sebagai urutan tanaman yang ditanam secara bergilir dalam satu lahan yang sama (Wibberley, 1996). Penerapan rotasi tanaman bertujuan untuk meningkatkan kesuburan tanah terutama untuk menghasilkan dan melestarikan nitrogen serta untuk memutus siklus hama (Ekawati, 2009). Keputusan akhir yang menentukan manakah urutan tanaman yang akan dipilih adalah sebuah manajemen keputusan yang berdasar pada optimalisasi misalnya dalam tujuan finansial yaitu memaksimalkan keuntungan dan meminimasi biaya, atau dari segi pertanian yaitu meminimasi penggunaan pestisida.

Dalam mendesain dan implementasi sistem pertanian berkelanjutan, rotasi tanaman merupakan suatu faktor penting (Sconhart, dkk, 2011). Sistem pertanian berkelanjutan merupakan upaya dalam mempertahankan ekosistem alami lahan pertanian yang sehat, bebas dari bahan-bahan kimia yang meracuni lingkungan. Rotasi tanaman memiliki peran dalam mempengaruhi kualitas lingkungan abiotik dan biotik serta meningkatkan pemanfaatan sumber daya alam, misalnya dengan

menentukan ketersediaan nitrogen dan air dalam tanah dan menjaga lahan pertanian dari hama dan penyakit. Manfaat rotasi tanaman antara lain meningkatkan produksi tanaman, memperbaiki kesuburan tanah, memelihara keseimbangan biologis, dan memperkecil kegagalan panen. Selain berperan penting dalam hal ekologi, rotasi tanaman juga memiliki efek terhadap pendapatan bersih yang diperoleh petani, upaya organisasi tenaga kerja, dan manajemen resiko dampak sosio-ekonomi.

Dalam merancang sistem produksi agrikultur, penjadwalan rotasi tanaman didefinisikan sebagai suatu kalender penanaman yang menunjukkan waktu produksi setiap tanaman, dengan kata lain, periode yang dimulai dari penanaman hingga pemanenan untuk setiap tanaman pada setiap rotasi. Sebagai contoh, terdapat 6 tanaman yaitu a, b, c, d, e, dan f dengan waktu produksi 5, 4, 3, 7, 2, dan 3. Keenam tanaman tersebut akan dibuat jadwal rotasi tanamannya di 2 lahan garapan dalam horizon perencanaan satu tahun. Penjadwalan rotasi tanaman untuk keenam tanaman tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.

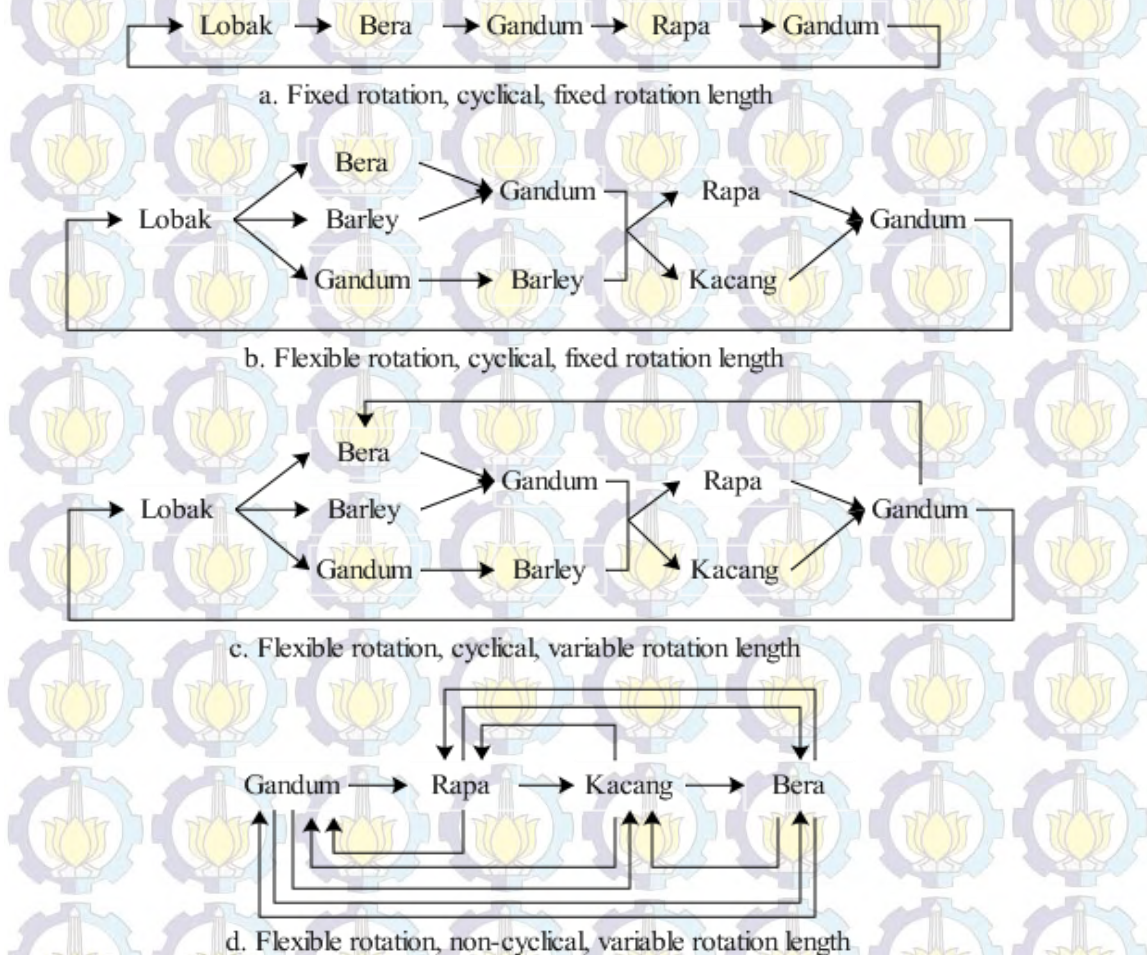
Lahan Garapan	Periode											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			<i>e</i>		<i>c</i>			<i>d</i>				
2		<i>b</i>			<i>a</i>					<i>f</i>		

Gambar 2.3. Contoh Jadwal Rotasi Tanaman

Dapat dilihat pada Gambar 2.3 terdapat 2 rotasi tanaman, yaitu rotasi tanaman e-c-d pada lahan garapan 1, dan rotasi tanaman b-a-f pada lahan garapan 2. Pada lahan garapan 1 tanaman e akan ditanam pada periode 3 dan dipanen pada periode 4, tanaman c akan ditanam pada periode 5 dan dipanen pada periode 7, dan tanaman d ditanam pada periode 8 dan dipanen pada periode 2. Penjadwalan rotasi tanaman ini selain mengikuti waktu produksi setiap tanaman, juga didasarkan pada periode tanam yang diperbolehkan untuk setiap tanaman. Misalkan periode tanam yang diperbolehkan untuk tanaman a yaitu antara Januari hingga September, berarti tanaman a hanya boleh ditanam pada rentang periode 1-9.

Berdasarkan hasil studi yang dilakukan Clarke, dkk (2000), rotasi tanaman dapat diklasifikasikan menjadi empat macam berdasarkan tipe rotasi dan panjang

rotasi. Pengklasifikasian ini digambarkan sebagai hasil penelitian rotasi tanaman sepanjang 5 tahun di Inggris di daerah East Anglian. Klasifikasi rotasi tanaman oleh Clarke dkk (2000) dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Contoh Klasifikasi Rotasi Tanaman (Clarke, dkk, 2000)

1. *Fixed rotation, cyclical, fixed rotation length.*

Setiap tanaman mengikuti urutan penanaman yang telah ditentukan sebelumnya tanpa ada kemungkinan deviasi. Jika dilihat pada Gambar 2.4.a, terdapat dua gandum yang didefinisikan berbeda: gandum 1 yang ditanam setelah periode bera (tidak ditanami), dan gandum 2 yang ditanam setelah tanaman rapa. *Cyclical* diartikan sebagai berulang, yaitu penanaman akan berputar kembali ke urutan pertama setelah penanaman tanaman urutan terakhir. *Fixed rotation length* berarti panjang rotasi tidak berubah atau tetap selama waktu perencanaan yang ditentukan sebelumnya (dalam kasus ini 5 tahun).

2. *Flexible rotation, cyclical, fixed rotation length.*

Dalam tipe rotasi yang fleksibel, suatu urutan tanaman dapat dihadapkan pada beberapa pilihan penanaman tanaman atau disebut jaringan *multi-pathway*. Petani memiliki beberapa pilihan tanaman yang boleh ditanam setelah penanaman tanaman pada urutan sebelumnya. Misalnya pada Gambar 2.4.b, setelah penanaman lobak, petani dapat memilih menanam gandum pada saat musim dingin, atau barley pada musim semi, atau dapat pula dibiarkan bera (tidak ditanami) jika cuaca pada saat itu sedang ekstrim sehingga tidak dapat dibuat untuk penanaman. Oleh karena itu, pilihan tanaman pada urutan tanam kedua menjadi fleksibel. Rotasi tanaman berulang dengan panjang rotasi tetap, dimana untuk pilihan tanaman apapun panjang rotasinya akan sama.

3. *Flexible rotation, cyclical, variable rotation length.*

Dalam tipe rotasi ketiga ini urutan rotasinya fleksibel dan berulang, namun panjang rotasinya tidak tetap. Misalkan pada Gambar 2.4.c, dari penanaman lobak sampai ke penanaman gandum 2 membutuhkan waktu 4 sampai 5 tahun.

4. *Flexible rotation, non-cyclical, variable rotation length.*

Tipe rotasi ini merupakan tipe yang tidak berstruktur, dimana rotasinya bersifat fleksibel, tidak bersiklus dan panjang rotasinya tidak tetap. Satu-satunya batasan dalam rotasi tipe ini adalah persyaratan suksesi tanam dimana setiap tanaman harus ditanam setelah tanaman yang lain ditanam. Misalnya pada Gambar 2.4.d, gandum tidak boleh ditanam setelah gandum namun boleh ditanam setelah tanaman rapa atau tanaman kacang-kacangan.

Beberapa penelitian di bidang rotasi tanaman yang pernah dilakukan sebelumnya adalah penelitian Haneveld & Stegeman (2005), Detlefsen & Jensen (2007), Alfandari, dkk (2011) dan Santos, dkk (2011&2010). Haneveld & Stegeman (2005) membangun model rotasi tanaman berdasarkan persyaratan suksesi tanaman. Persyaratan suksesi tanaman diartikan sebagai urutan tanaman yang tidak diperbolehkan. Detlefsen & Jensen (2007) memformulasikan permasalahan penjadwalan rotasi tanaman sebagai permasalahan transportasi.

Model yang mereka bangun mengaplikasikan model *network flow* untuk menemukan rotasi optimal dengan memaksimalkan *gross margin* untuk setiap urutan tanam. Model yang dikembangkan Alfandari, dkk (2011) dan Santos, dkk (2011 & 2010) akan dibahas pada subbab berikutnya.

2.5 Critical Review

Beberapa penelitian terdahulu digunakan sebagai acuan pengembangan model dalam penelitian ini. Terdapat kesenjangan yang terjadi dalam penelitian terdahulu yaitu dalam hal pengembangan model maupun teknik penyelesaiannya.

2.5.1 Model Penjadwalan Rotasi Tanaman Dengan Batasan *Spatial Adjacency* (Santos, dkk, 2011)

Santos, dkk (2011) berusaha memaksimalkan penggunaan lahan pertanian dengan membangun model 0-1 linear programming. Tujuan penelitian ini untuk menentukan jadwal rotasi tanaman yang optimal pada lahan yang dibagi atas beberapa plot. Semua plot memiliki durasi rotasi yang sama. Kendala dalam model ini ada empat yaitu *spatial adjacency*, suksesi tanam, alokasi pupuk hijau, dan periode pemberaan. *Spatial adjacency* adalah kendala yang membatasi tanaman dengan botanic family yang sama tidak bisa ditanam bersamaan dalam plot yang berdekatan. Suksesi tanam adalah kendala yang membatasi tanaman dengan botanic famili yang sama tidak boleh ditanam secara bergilir. Tiap tanaman memiliki periode tanam (I_i), dan waktu produksi (t_i) yang berbeda-beda. Beberapa karakteristik dari model ini yang dapat digunakan untuk pengembangan model adalah sebagai berikut.

Fungsi Tujuan:

Fungsi tujuan yang dikembangkan pada model ini adalah memaksimalkan total penggunaan plot pada tiap rotasi.

$$z_{CRS} = \max \sum_{k=1}^L \sum_{i \in C} \sum_{j=I_i} t_i x_{ijk} \quad (2.1)$$

Batasan:

Beberapa batasan yang digunakan sebagai acuan pada model ini adalah:

1. Batasan penanaman satu tanaman pada setiap periode.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{r=0}^{t_i-1} x_{i(j-r)k} \leq 1, \quad j = 1 \dots M, k = 1 \dots L \quad (2.2)$$

2. Batasan suksesi tanam: tanaman dalam satu botanic family tidak boleh ditanam secara bergilir.

$$\sum_{i \in F(p)} \sum_{r=0}^{t_i} x_{i(j-r)k} \leq 1, \quad p = 1 \dots NF, j = 1 \dots M, k = 1 \dots L \quad (2.3)$$

3. Batasan periode pemberaan lahan. Dalam setiap rotasi tanaman harus ada satu periode pemberaan lahan.

$$\sum_{j=1}^M x_{njk} = 1, \quad k = 1 \dots L \quad (2.4)$$

Model ini hanya menentukan waktu tanam optimal untuk setiap tanaman, tidak sampai menentukan jumlah tanaman yang diproduksi. Fokus penelitian ini adalah mendapatkan urutan tanaman berdasarkan kriteria suksesi tanam dan tidak membahas mengenai pemenuhan permintaan tiap periode untuk tiap tanaman. Sehingga model ini hanya memecahkan permasalahan penjadwalan rotasi tanaman tanpa mempertimbangkan perencanaan strategis terkait produksi.

2.5.2 Model Permasalahan Pasokan Tanaman Sayuran Berkelanjutan (Santos, dkk, 2010)

Santos, dkk (2010) mengembangkan model berdasarkan permasalahan produksi pertanian yang terjadi pada petani kecil di Brazil. Model yang dibangun adalah model *Sustainable Vegetable Crop Supply Problem* (SVCSP). Model ini berusaha menentukan pembagian ukuran lahan heterogen yang terbaik kedalam beberapa plot. Pada dasarnya mereka ingin menentukan jadwal rotasi tanaman yang optimal yang dapat menghasilkan jumlah produksi tanaman semaksimal mungkin sehingga dapat memenuhi permintaan. Output dari penjadwalan rotasi tanam adalah waktu dan urutan tanam. Dalam membuat penjadwalan rotasi tanaman yang layak, tiga batasan ekologi harus terpenuhi. Pertama, satu tanaman

dengan botanic family yang sama tidak dapat ditanam secara bergilir dengan tujuan mengurangi penggunaan pestisida. Kedua, harus adanya penanaman pupuk hijau untuk setiap rotasi yang membantu menjaga kestabilan nutrisi tanah dan meningkatkan kesuburan tanah. Ketiga, harus adanya periode pemberaan lahan untuk membantu membangun kembali struktur dan makhluk hidup pada tanah dan mengurangi kerusakan akibat pestisida (Altieri, 1995 & Gliessman, 2000). Selain itu, model ini mempertimbangkan periode tanam dan waktu produksi yang berbeda pada tiap tanaman.

Santos, dkk (2010) mempertimbangkan lahan heterogen (k) yang memungkinkan beberapa tanaman tidak dapat ditanam pada lahan tertentu. Jumlah produksi tanaman pada tiap lahan (p_{irk}) adalah acak tergantung pada luas area lahan dan produktivitas lahan tersebut. Total jumlah tanaman yang diproduksi (a_{ijk}^s) pada tiap periode tergantung oleh jadwal rotasi tanaman yang ditentukan, $a_{ijk}^s = p_{irk} \hat{x}_{i(j-o_i-r)_k}^s$. Tujuan dari model ini adalah untuk memaksimalkan total *revenue* yang diperoleh. *Revenue* (r_{ks}) merupakan hasil penjualan dari total jumlah tanaman yang diproduksi.

$$\max \sum_{k=1}^L \sum_{s \in S_k} r_{ks} \lambda_{ks} \quad (2.5)$$

Dimana λ_{ks} merupakan variabel keputusan yaitu ukuran luas plot.

2.5.3. Model Mixed-Integer Programming Untuk Perencanaan Rotasi Tanaman Dalam Konteks Pembangunan Perkebunan Berkelanjutan (Alfandari, dkk, 2011)

Alfandari, dkk (2011) melakukan penelitian berdasarkan permasalahan yang terjadi di pertanian Madagascar dimana tujuannya adalah untuk mengendalikan penggunaan ruang pertanian sementara pertumbuhan tanaman musiman yang dikelola para petani terpenuhi. Model *Mixed-Integer Linear Programming* dibangun untuk menyelesaikan masalah rotasi tanaman multi-periode yang mempertimbangkan batasan tingkat permintaan dan pemilihan antara melakukan penanaman pada lahan garapan atau lahan garapan tersebut dibiarkan tidak ditanami (bera).

Fungsi tujuan

$$\text{Min} \sum_{p \in P_{\text{new}}} z^p \quad (2.6)$$

$$z^p = \max_{t=1, \dots, 2T} y_t^p \text{ for } p \in P_{\text{new}}$$

Batasan:

Batasan-batasan dalam model ini adalah:

1. Inisial pergantian penggunaan plot

Kendala ini menentukan inisial pergantian penggunaan plot, apakah plot pada musim sebelumnya (t-1) digunakan untuk menanam tanaman $i \in C_2$ atau plot dibiarkan tidak ditanami (bera).

$$\bar{x}_i^{p l^p a^p} z^p = \sum_{j \in C_1} X_{ij1}^{p l^p, a^p+1} + X_{if1}^p \text{ for } p \in P, i \in C_2 \quad (2.7)$$

$$\bar{x}_f^{p l^p} z^p = S^p \sum_{l=1}^{\bar{l}-l^p} r_1^{pl} + \sum_{j \in C_1} X_{ff1}^{p l^p} \text{ for } p \in P \quad (2.8)$$

2. Alur urutan tanam

Kendala ini menentukan tanaman apa yang harus ditanam pada musim selanjutnya (t+1)

$$\sum_{i \in \text{Pr}(j)} X_{ijt}^{p l a} = \sum_{k: j \in \text{Pr}(k)} X_{jk, t+1}^{p l, a+1} + X_{jf, t+1}^p \text{ for } t = 2, \dots, 2T-1, j \in C_{s(t)}, a = 2, \dots, \bar{a}-1, l \leq \bar{l} \quad (2.9)$$

$$X_{ff t}^{p l 1} = \sum_{k: j \in \text{Pr}(k)} X_{jk, t+1}^{p l 2} + X_{jf, t+1}^p \text{ for } t = 2, \dots, 2T-1, p \in P, j \in C_{s(t)}, l \leq \bar{l} \quad (2.10)$$

$$\sum_{i \in \text{Pr}(j)} X_{ijt}^{p l \bar{a}} = X_{jf, t+1}^p \text{ for } t = 2, \dots, 2T-1, p \in P, j \in C_{s(t)}, l \leq \bar{l} \quad (2.11)$$

3. Pemenuhan permintaan

Kendala ini menyatakan permintaan tanaman pada musim t harus terpenuhi.

$$\sum_{p \in P} \sum_{l=1}^{\bar{l}} \left(\bar{w}_j^l X_{fjt}^{p l 1} + \sum_{i \in \text{Pr}(j)} \sum_{a=2}^{\bar{a}} w_{ij}^{la} X_{ijt}^{p l a} \right) \geq D_{jt} \text{ for } t = 1, \dots, 2T, j \in C_{s(t)} \quad (2.12)$$

Tujuan model ini ingin meminimalkan luas plot baru yang merupakan parameter kritis karena berhubungan dengan pemakaian biaya tambahan. Plot baru ini merupakan plot tambahan yang digunakan jika plot yang telah ada pada saat ini tidak dapat memproduksi sejumlah tanaman untuk memenuhi permintaan. Model ini juga mempertimbangkan waktu maksimal saat plot dibiarkan bera, dan saat plot digunakan untuk penanaman. Keterbatasan pada model ini adalah tidak mempertimbangkan periode tanam untuk tiap tanaman, dan waktu produksi dianggap sama untuk semua jenis tanaman.

Dari ketiga penelitian tersebut akan dikembangkan model penjadwalan penanaman mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan yang memperhatikan batasan ekologi, ketersediaan lahan garapan (*multi-arable land*), periode tanam, waktu produksi tanaman, yield tanaman, dan biaya.

Kontribusi yang diberikan pada penelitian ini adalah perencanaan strategis rotasi tanaman. Pada penelitian terdahulu fokusnya hanya pada penjadwalan rotasi tanaman yang menghasilkan urutan tanam. Pada penelitian ini, model yang dibuat mencakup perencanaan sistem *supply* terhadap permintaan mulai dari produk tersebut belum ditanam. Pengembangan model ini berusaha untuk menangkap kondisi nyata permasalahan pertanian perkotaan yang ada dengan melihat karakteristik tanaman yang memiliki periode tanam tertentu serta waktu produksi yang berbeda-beda. Rangkuman *critical review* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Rangkuman *Critical Review* Penelitian Terdahulu

Karakteristik Model	Penelitian Terdahulu			Penelitian Ini
	Santos, dkk (2011)	Santos, dkk (2010)	Alfandari, dkk (2011)	
Fokus Penelitian				
Produk	Multiple	Multiple	Multiple	Multiple
Pembibitan				√
Penjadwalan penanaman	√	√	√	√
Perencanaan produksi		√	√	√
Rotasi tanaman	√	√	√	√
Fungsi Tujuan				
Memaksimalkan penggunaan lahan	√			
Memaksimalkan <i>revenue</i>		√		
Meminimasi penambahan plot baru			√	
Memaksimalkan profit				√
Variabel Keputusan				
Jadwal tanam	√	√	√	√
Jumlah tanaman		√		√
Jumlah bibit				√
Luas plot		√	√	
Batasan Ekologi yang Dipertimbangkan				
Suksesi tanam (botanic family)	√	√	√	√
<i>Spatial Adjacency</i>	√			
Pupuk Hijau	√	√		
Pemberaan lahan	√	√	√	√
Lahan homogen	√		√	√
Komponen Biaya				
Biaya produksi				√

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian. Metode penelitian memuat langkah-langkah sistematis yang akan menjadi acuan dalam menyelesaikan penelitian ini agar penelitian sesuai dengan *framework* yang dibangun.

3.1 Pengembangan dan Formulasi Model

Pada tahap ini akan dilakukan pengembangan dan formulasi model penjadwalan penanaman mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan. Dasar model yang digunakan dalam pengembangan model penelitian ini adalah model penjadwalan rotasi tanaman yang dikembangkan oleh Santos, dkk (2010 & 2011), dan model perencanaan rotasi tanaman yang dikembangkan oleh Alfandari, dkk (2011). Model Santos, dkk (2010) bertujuan memaksimalkan total revenue yang diperoleh dengan mempertimbangkan batasan ekologi, dan tingkat permintaan. Model yang dikembangkan oleh Santos, dkk (2011) berusaha mencari kapan waktu penanaman yang optimal. Model ini mempertimbangkan batasan ekologi yang diantaranya tanaman satu botanic family tidak dapat ditanam secara bergilir satu dengan yang lain, tanaman satu botanic family tidak dapat ditanam bersamaan pada plot yang berdekatan, dan adanya pupuk hijau serta periode pemberaan lahan pada setiap jadwal rotasi tanaman. Model Alfandari, dkk (2011) berusaha untuk menentukan apakah pada sebuah lahan garapan akan dilakukan budidaya tanaman atau dibiarkan bera dalam rentang periode tertentu, dan jika dilakukan budidaya tanaman, maka tanaman apakah yang akan ditanam pada periode tersebut. Dari ketiga model tersebut akan dikembangkan suatu model penjadwalan penanaman mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan yang memperhatikan batasan ekologi, ketersediaan lahan garapan (*multi-arable land*), periode tanam, waktu produksi tanaman, produktivitas lahan, dan biaya.

3.2 Percobaan Numerik dan Analisis

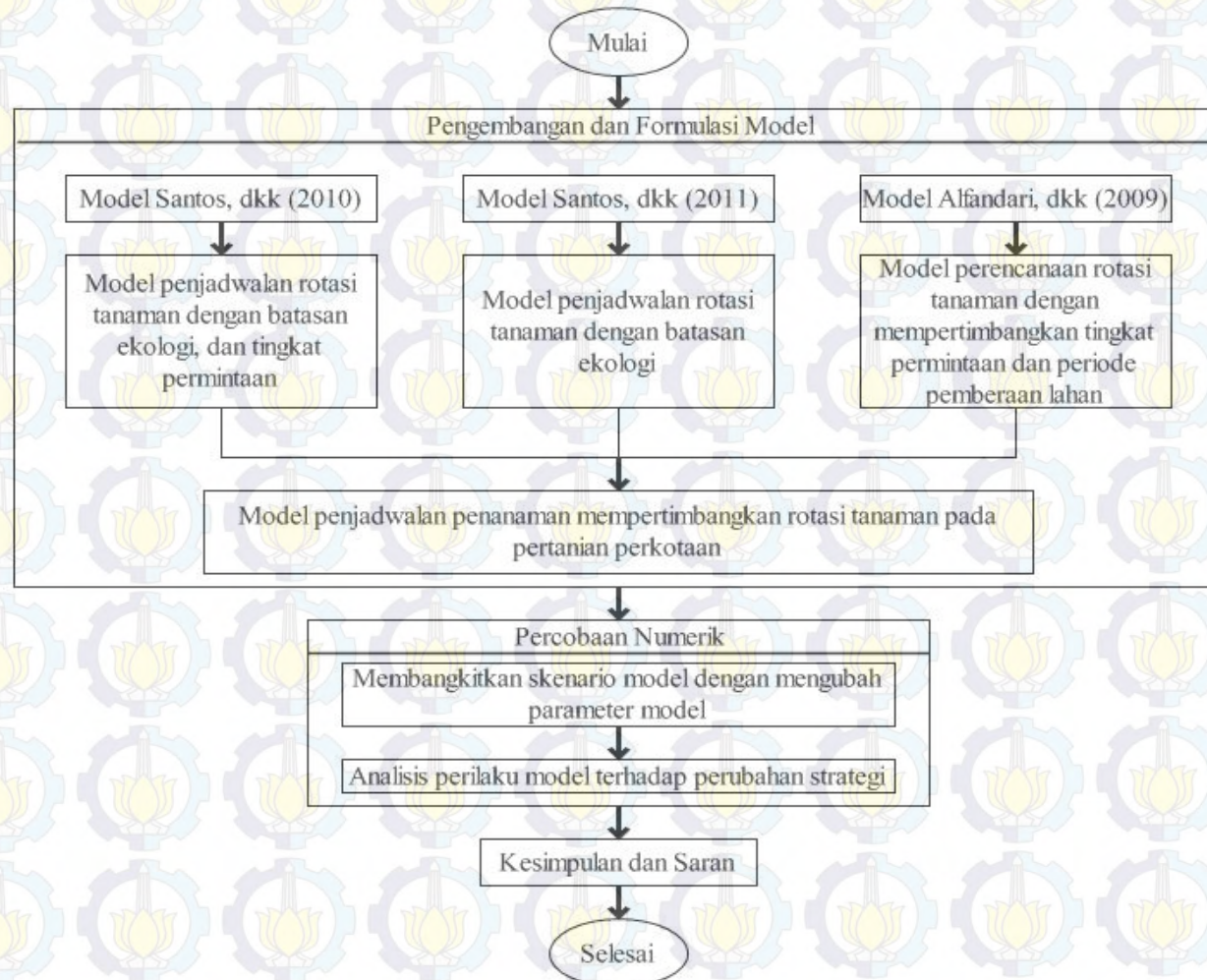
Pada tahap ini akan dilakukan percobaan numerik yang bertujuan untuk mengilustrasikan model yang telah dibuat. Hasil yang akan diperoleh adalah jadwal rotasi tanaman yang optimal yang akan memaksimalkan keuntungan yang diperoleh. Selain itu akan dilakukan analisis sensitivitas terhadap perilaku model dengan cara memasukkan beberapa skenario perubahan tingkat permintaan, dan kapasitas lahan untuk mengetahui bagaimana dampak yang ditimbulkan terhadap keputusan penjadwalan rotasi tanaman, dan total profit yang diperoleh. Dengan dasar analisis skenario tersebut, maka akan diperoleh rekomendasi skenario terbaik. Rencana skenario yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1 Rencana Skenario Percobaan Numerik Yang Akan Dilakukan

Percobaan	Skenario	Tujuan
1.	Menjalankan model dengan skenario perubahan kapasitas lahan diturunkan dan dinaikkan 10% dan 20%.	Mengetahui pengaruh skenario yang diterapkan terhadap keputusan penjadwalan rotasi tanaman, aspek biaya, dan profit yang diperoleh.
2.	Menjalankan model dengan skenario perubahan produktivitas tanaman diturunkan dan dinaikkan 10%, dan 20%.	Mengetahui pengaruh skenario yang diterapkan terhadap keputusan penjadwalan rotasi tanaman, aspek biaya, dan profit yang diperoleh.
3.	Menjalankan model dengan skenario perubahan tingkat permintaan dinaikkan dan diturunkan 20%, dan 40%.	Mengetahui pengaruh skenario yang diterapkan terhadap profit yang diperoleh.
4.	Menjalankan model dengan skenario perubahan waktu permintaan yang dimajukan dan dimundurkan satu dan dua periode.	Mengetahui pengaruh skenario yang diterapkan terhadap keputusan penjadwalan rotasi tanaman, aspek biaya, dan profit yang diperoleh.

3.3 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Dalam tahapan ini dilakukan penarikan kesimpulan dan saran penelitian. Kesimpulan merupakan hasil ringkasan dari penelitian yang telah dilakukan yang berupa jawaban atas pertanyaan yang dirumuskan pada tujuan penelitian. Saran akan diberikan untuk masukan pada penelitian selanjutnya dilingkup penelitian yang sama.



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

BAB 4

PENGEMBANGAN MODEL

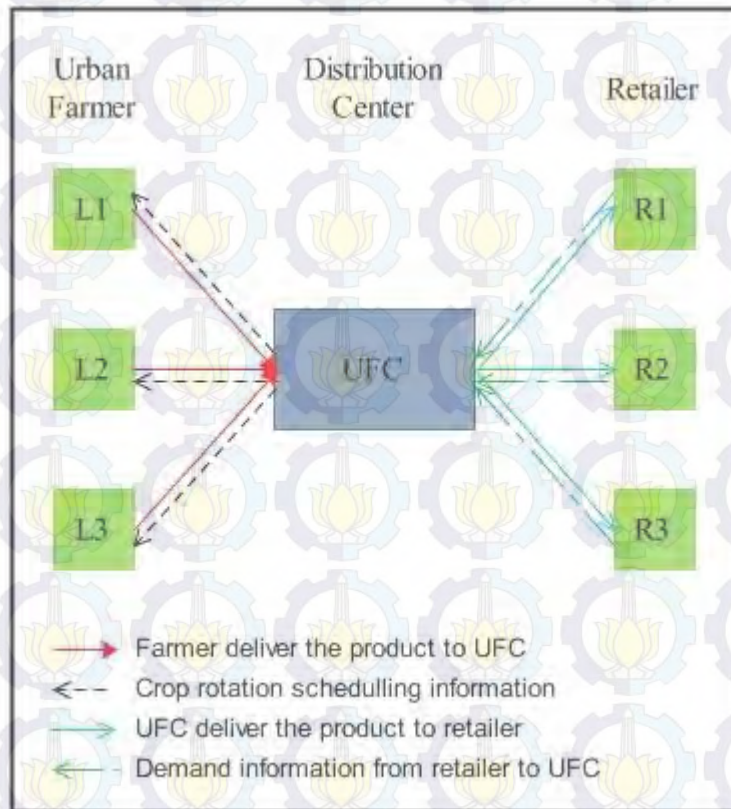
Pada bab ini akan dibahas mengenai pengembangan model penjadwalan penanaman dengan mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan. Model yang dikembangkan ingin menghasilkan jadwal penanaman bagi petani urban yang mempertimbangkan batasan ekologi, ketersediaan lahan, produktivitas lahan, periode tanam, waktu produksi, dan biaya yang tujuannya memaksimalkan keuntungan yang diperoleh petani urban dan *Urban Farming Center*.

4.1 Deskripsi Permasalahan

Dalam sistem *agrifood supply chain* yang ada sekarang ini belum ada koordinasi yang efektif antara retailer dengan *distribution center* dan *distribution center* dengan petani, khususnya petani urban yang menyuplai sayuran organik. Hal tersebut sering membuat petani urban tidak mengetahui berapa banyak jumlah tanaman yang harus diproduksi. Sehingga sering terjadi kelebihan produksi atau kekurangan produksi. Permasalahan ini mengakibatkan tidak maksimalnya keuntungan yang diperoleh baik bagi petani urban maupun retailer. Salah satu masalah terjadi pada sistem *contract farming* antara retailer yaitu supermarket (seperti Hero, Giant, Carefour) dengan petani urban. Dalam sistem tersebut, petani urban mengirim produk ke supermarket dan supermarket hanya membayar produk yang terjual, sedangkan sisanya akan dikembalikan ke petani urban. Hal tersebut mengakibatkan kerugian untuk petani urban jika memproduksi terlalu banyak atau sedikit.

Jika petani urban memproduksi produk sayuran lebih banyak dari tingkat permintaan yang ada, maka kerugian terjadi akibat produk tidak terjual. Jika petani urban memproduksi lebih sedikit dari tingkat permintaan, maka yang terjadi adalah *loss opportunity*. Supermarket juga akan mengalami kerugian, kekurangan produk akan mengakibatkan *loss opportunity*, kelebihan produk akan mengakibatkan besarnya biaya penyimpanan. Permasalahan tersebut dapat berdampak pada penurunan kinerja pada kedua pemain karena perbedaan tujuan masing-masing pemain. Oleh karena itu, perlu adanya koordinasi yang dapat

menyelaraskan tujuan dalam sistem *agrifood supply chain* dan dapat memberikan solusi optimal bagi kedua belah pihak. Dalam penelitian ini *agrifood supply chain* pada pertanian perkotaan yang terlibat adalah antara petani urban, *Urban Farming Center* sebagai *distribution center*, dan retailer seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Proses bisnis *agrifood supply chain* pertanian perkotaan

Proses bisnis yang terjadi dalam sistem *agrifood supply chain* tersebut terpusat pada *Urban Farming Center* yang berperan sebagai *distribution center*. UFC akan menerima informasi mengenai data tingkat permintaan dari retailer. UFC tidak lagi melakukan peramalan permintaan karena telah memiliki *supply contract* dengan retailer mengenai jumlah produk yang dikirim yaitu sebesar tingkat permintaan yang ada pada retailer. Dari hasil tersebut, UFC membuat jadwal penanaman. Jadwal penanaman meliputi waktu awal penanaman hingga waktu panen, pada lahan mana tiap tanaman ditanam, dan jumlah tanaman yang diproduksi pada tiap periode dan tiap plot. Pembibitan dilakukan oleh UFC di green house milik mereka. Setelah bibit siap tanam akan diberikan pada petani urban untuk ditumbuhkan. Hasil panen tanaman akan dikirim oleh petani urban ke

UFC dan akan diganti oleh bibit tanaman lain untuk ditumbuhkan pada periode selanjutnya. Selanjutnya produk akan dikirim ke retailer dengan jumlah dan waktu sesuai perhitungan penjadwalan.

Dalam permasalahan penjadwalan penanaman ini akan dipertimbangkan rotasi tanaman. Rotasi tanaman disini ditujukan untuk mengurangi hama penyakit yang dapat menyerang tanaman dan untuk menyuburkan tanah. Batasan ekologi yang merepresentasikan rotasi tanaman adalah tanaman dengan botanic famili yang sama tidak boleh ditanam secara bergilir, dan adanya periode pemberaan lahan. Periode pemberaan merupakan periode dimana lahan pertanian dibiarkan menganggur (*idle*). Tujuannya untuk mengistirahatkan lahan supaya dapat membantu membangun kembali struktur dan makhluk hidup pada tanah dan mengurangi kerusakan akibat pestisida (Altieri, 1995 & Gliessman, 2000). Dengan adanya pemberaan lahan, maka tidak ada produksi selama rentang waktu pemberaan. Hal ini dapat mengakibatkan petani maupun *Urban Farming Center* kehilangan kesempatan mendapatkan pendapatan. Namun karena tujuan pemberaan lahan adalah meningkatkan produktivitas lahan, maka diharapkan produksi tanaman pada periode setelah pemberaan dapat maksimal dan menutupi kerugian.

Dari deskripsi permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya akan dibuat suatu model yang representatif dengan permasalahan tersebut. Model tersebut akan digunakan sebagai *tool* untuk membantu pengelola *Urban Farming Center* dalam membuat keputusan penjadwalan penanaman yang optimal sehingga dapat memaksimalkan keuntungan yang didapatkan.

4.2 Formulasi Model

Pada permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya, selanjutnya dilakukan pengembangan model penjadwalan penanaman mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan. Penyelesaian model *mixed integer linear programming* dilakukan untuk menjadwalkan waktu penanaman dengan adanya pertimbangan rotasi tanaman serta menentukan jumlah produksi tanaman optimal untuk dapat memenuhi permintaan. Tujuan pengembangan model penjadwalan penanaman dengan mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan

ini adalah untuk menghasilkan jadwal penanaman yang optimal yang dapat digunakan *Urban Farming Center* dan petani urban guna memudahkan sistem produksi tanaman dan mengetahui biaya yang dikeluarkan sehingga diperoleh profit semaksimal mungkin. Adapun deskripsi model yang dikembangkan dapat dijelaskan sebagai berikut.

4.2.1 Notasi Model

Berikut ini merupakan beberapa notasi model yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Notasi pada himpunan index model

T	horizon perencanaan
$t \in M$	himpunan periode ($t = 1, 2, 3, \dots, M$)
$r \in R$	himpunan periode panen ($r = 1, 2, \dots, R$)
$i \in N$	himpunan jenis tanaman i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)
$k \in L$	himpunan lahan area tanam k ($k = 1, 2, 3, \dots, L$)
$n = N + 1$	tanaman artifisial yang menunjukkan periode pembajakan lahan
$F(p)$	himpunan tanaman botanic family p ($p = 1, 2, 3, \dots, NF$)
$s \in S_k$	himpunan jadwal rotasi tanaman yang layak pada lahan area tanam k

2. Notasi pada biaya

C_{it}	harga jual produk tanaman i pada periode t
SC_i	biaya pembibitan tanaman i
PC_i	biaya penanaman tanaman i
RC_k	biaya tetap sewa lahan k milik petani

3. Notasi pada parameter

I_i	periode tanam yang diperbolehkan untuk tanaman i , terdiri dari E_i (waktu awal tanam) dan L_i (waktu akhir tanam)
tp_i	waktu produksi tanaman i termasuk waktu persiapan lahan dan waktu panen
A_k	luas lahan k
$Yield_s$	produktivitas lahan pembibitan

D_{it} tingkat permintaan tanaman i pada periode t
 P_{irk} produktivitas lahan k untuk tanaman i yang dipanen pada periode panen r

4. Notasi variabel keputusan

X_{sitk} 1 jika tanaman i ditanam pada periode t pada plot k , dan 0 jika tidak

P_{sitk} jumlah tanaman i yang ditanam pada periode t pada plot k

S_{it} jumlah benih tanaman i yang dibibitkan pada periode t

H_{itk} jumlah tanaman i yang diproduksi pada periode t pada plot k

4.2.2 Modifikasi Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan pada model yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah memaksimalkan profit yang didapatkan oleh *Urban Farming Center*. Perhitungan profit tersebut merupakan selisih dari total pendapatan yang diperoleh dari hasil penjualan produk tanaman dengan biaya produksi yang terdiri dari total biaya tetap dan total biaya variabel yang dikeluarkan. Biaya-biaya yang dipertimbangkan pada model ini adalah sebagai berikut:

1. Pendapatan yang diperoleh *Urban Farming Center* merupakan hasil jual tanaman yang telah dipanen kepada konsumen. Pendapatan dihitung dari perkalian total jumlah permintaan dengan harga tanaman. Diasumsikan bahwa *Urban Farming Center* mengirimkan jumlah produk sejumlah permintaan yang ada pada retailer. Hal ini karena pada proses bisnisnya, telah ada *supply contract* antara *Urban Farming Center* dengan retailer. Formulasi matematika untuk pendapatan adaah sebagai berikut:

$$\sum_{i \in N} \sum_{t \in M} D_{it} \times C_{it} \quad (4.1)$$

2. Biaya-biaya yang dikeluarkan di *Urban Farming Center* adalah sebagai berikut:

- a. Biaya pembibitan merupakan biaya yang dikeluarkan *Urban Farming Center* untuk menumbuhkan benih menjadi bibit. Biaya ini terdiri dari

biaya pembelian benih, biaya pestisida benih, dan biaya persiapan pembenihan. Formulasi matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i \in N} \sum_{t \in M} S_{it} \times SC_i \quad (4.2)$$

- a. Biaya penanaman merupakan biaya yang dikeluarkan *Urban Farming Center* untuk menumbuhkan bibit menjadi tanaman. Biaya yang dikeluarkan antara lain terdiri dari biaya persiapan lahan tanam (penggemburan lahan, biaya penutrisian tanah, dan lain-lain), biaya pemupukan. Formulasi matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i \in N} \sum_{t \in M} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S_k} P_{sitk} \times PC_i \quad (4.3)$$

- b. Biaya sewa lahan petani merupakan biaya tetap (*fix cost*) yang dikeluarkan *Urban Farming Center* jika menggunakan lahan petani sebagai media tanam. Formulasi matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i \in N} \sum_{t \in M} \sum_{k \in K} RLC_{itk} \times x_{sitk} \quad (4.4)$$

Dari uraian perhitungan biaya diatas, maka dapat dibuat persamaan fungsi tujuan model penjadwalan penanaman dengan mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Maximize } Z = & \sum_{i \in N} \sum_{t \in M} D_{it} \times C_{it} \\ & - \left(\sum_{i \in N} \sum_{t \in M} S_{it} \times SC_i + \sum_{i \in N} \sum_{t \in M} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S_k} P_{sitk} \times PC_i \right. \\ & \left. + \sum_{i \in N} \sum_{t \in M} \sum_{k \in K} RLC_{itk} \times x_{sitk} \right) \end{aligned} \quad (4.5)$$

Fungsi tujuan ini ingin memperoleh berapa jumlah optimal benih yang harus dibeli (S_{it}), dan berapa jumlah tanaman yang harus ditanam (P_{sitk}) sehingga dapat diketahui berapa biaya yang harus dikeluarkan untuk dapat memaksimalkan profit. Hal ini yang menjadi pengembangan model pada penelitian ini, dimana pada model sebelumnya jumlah benih dan tanaman tidak dihitung. Dengan

pengembangan model ini, memberikan suatu perencanaan sistem *supply* terhadap permintaan mulai dari produk belum ditanam.

4.2.3 Modifikasi Fungsi Kendala

Berikut ini merupakan fungsi kendala yang terdapat pada model penjadwalan penanaman dengan mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan:

1. Fungsi kendala yang menyatakan paling banyak ada satu tanaman yang ditanam pada tiap periode disetiap plot. Kendala ini diadopsi dari model penjadwalan rotasi tanaman oleh Santos, dkk (2011). Pada kendala ini jika $t - r \leq 0$, maka substitusi $t - r$ dengan $t - r + M$. Formulasi matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{r=0}^{tp_i-1} x_{i(t-r)k} \leq 1, \quad t \in M, k \in K \quad (4.6)$$

2. Fungsi kendala yang menyatakan bahwa tanaman dengan satu botanic family yang sama tidak boleh ditanam secara bergilir. Kendala ini diadopsi dari model penjadwalan rotasi tanaman oleh Santos, dkk (2011). Pada kendala ini jika $t - r \leq 0$, maka substitusi $t - r$ dengan $t - r + M$. Formulasi matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i \in F(p)} \sum_{r=0}^{tp_i} x_{i(t-r)k} \leq 1, \quad p = 1 \dots NF, t \in M, k \in K \quad (4.7)$$

3. Fungsi kendala yang menyatakan harus ada satu periode pemberaan pada tiap rotasi. Kendala ini diadopsi dari model penjadwalan rotasi tanaman oleh Santos, dkk (2011). Formulasi matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{t=1}^M x_{n(t-r)k} = 1, \quad k \in K \quad (4.8)$$

4. Fungsi kendala yang menyatakan jumlah bibit yang ditanam merupakan total dari jumlah bibit yang dibuat dikali dengan tingkat keberhasilan pembentukan bibit. Formulasi matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k \in K} \sum_{s \in Sk} P_{sitk} = S_{i(t-seedtime)} \times Yield(i), \quad i \in N, t \in M \quad (4.9)$$

5. Fungsi kendala yang menyatakan jumlah tanaman yang diproduksi merupakan total dari jumlah bibit yang ditanam dikali dengan produktivitas lahan. Formulasi matematisnya adalah sebagai berikut:

$$H_{itk} = \sum_{s \in S_k} \sum_{r=1}^{tp_i - o_i - 1} P_{si(tp - o_i - r)k} \times p_{irk} \times x_{si(tp - o_i - r)k}, \quad i \in N, t \in M, k \in K \quad (4.10)$$

6. Fungsi kendala yang menyatakan bahwa luas area tanaman i yang digunakan pada periode t di plot k tidak boleh melebihi kapasitas plot k . Adapun formulasi matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\frac{\sum_{t \in M} \sum_{i \in N} \sum_{r=1}^{tp_i - o_i - 1} P_{si(tp - o_i - r)k}}{\text{density}(i)} \leq A_k, \quad t \in M, k \in K \quad (4.11)$$

7. Fungsi kendala yang menyatakan bahwa semua permintaan untuk setiap tanaman pada tiap periode harus terpenuhi. Adapun formulasi matematisnya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{k \in K} H_{itk} \geq D_{it}, \quad i \in N, t \in M \quad (4.12)$$

8. Kendala yang menyatakan penggunaan lahan k pada periode t untuk tanaman i . Jika ada sejumlah tanaman i yang ditanam pada periode t pada lahan k , maka lahan k akan disewa dan nilainya sebesar nilai sewa lahan k .

$$RLC_{itk} = \begin{cases} RL_k, & \sum_{s \in S_k} \sum_{r=1}^{tp_i - o_i - 1} P_{si(tp - o_i - r)k} > 0 \\ 0, & \sum_{s \in S_k} \sum_{r=1}^{tp_i - o_i - 1} P_{si(tp - o_i - r)k} = 0 \end{cases} \quad (4.13)$$

9. Kendala yang menyatakan sifat variabel.

$$H_{itk}, P_{sitk}, S_{it} \geq 0, \quad i \in N, t \in M, k \in K \quad (4.14)$$

$$x_{sitk} \in \{0,1\}, \quad i = 1, \dots, n, t \in I_i, k = 1 \dots K \quad (4.15)$$

Fungsi kendala (4.6) hingga (4.8) merupakan fungsi kendala yang merepresentasikan penentuan penjadwalan rotasi tanaman yang layak. Kendala

(4.9) hingga (4.15) merupakan kendala modifikasi yang menyatakan produksi tanaman.

4.3 Formulasi Bahasa LINGO

Pada penelitian ini digunakan *software* LINGO 14 dalam mencari solusi dari permasalahan yang diujicobakan pada model yang telah dikembangkan.

4.3.1 Verifikasi Model LINGO

Untuk mengetahui apakah model yang telah diformulasikan ke dalam bahasa LINGO sesuai dengan model matematis yang telah dikembangkan maka dilakukan uji verifikasi terhadap model formulasi LINGO. Uji verifikasi dilakukan dengan membandingkan nilai fungsi tujuan yang dihasilkan oleh *software* LINGO dengan nilai fungsi tujuan perhitungan manual untuk sebuah kasus sederhana. Apabila keduanya menunjukkan hasil yang tidak berbeda secara signifikan maka model formulasi LINGO dapat dikatakan *verified*.

Pada model penjadwalan penanaman dengan mempertimbangkan rotasi tanaman pada pertanian perkotaan yang telah dikembangkan, variabel keputusan yang akan dicari diantaranya adalah urutan penanaman, serta waktu dan jumlah penanaman. Oleh karena itu, perhitungan manual yang digunakan akan mencoba kombinasi yang menghasilkan ketiga *output* tersebut untuk dibandingkan dengan *output* dari hasil *running software* LINGO. Data yang digunakan pada uji verifikasi ini adalah sebagai berikut.

Tabel 4.1. Botanic Family, Periode Tanam, dan Waktu Produksi Tanaman *i* Uji Verifikasi

<i>i</i>	Botanic family	Periode Tanam (<i>li</i>)		Waktu Produksi (<i>ti</i>)
		Awal	Akhir	
1	1	1	3	3
2	2	1	6	3

Tabel 4.2 Harga Jual Tanaman *i* Uji Verifikasi

<i>i</i>	Cit					
	1	2	3	4	5	6
1	900	900	1500	100	1500	900
2	700	700	700	700	700	800

Tabel 4.3. Tingkat Permintaan Tanaman i Uji Verifikasi

i	Dit					
	1	2	3	4	5	6
1	0	0	100	0	0	0
2	0	0	0	0	0	100

Tabel 4.4. Parameter Uji Verifikasi

Parameter	Notasi	Satuan	Tanaman (i)	
			1	2
Biaya pembibitan	SC	Rp/kg	250	350
Biaya penanaman	PC	Rp/kg	350	300
			Lahan	
			1	2
Biaya sewa lahan	RC	Rp/land	10000	20000
Kapasitas lahan	A	m ²	100	125

Dari data uji verifikasi tersebut dilakukan perhitungan manual dan diperoleh hasil paling baik sebagai berikut:

Tabel 4.5. Jadwal Rotasi Tanaman Uji Verifikasi

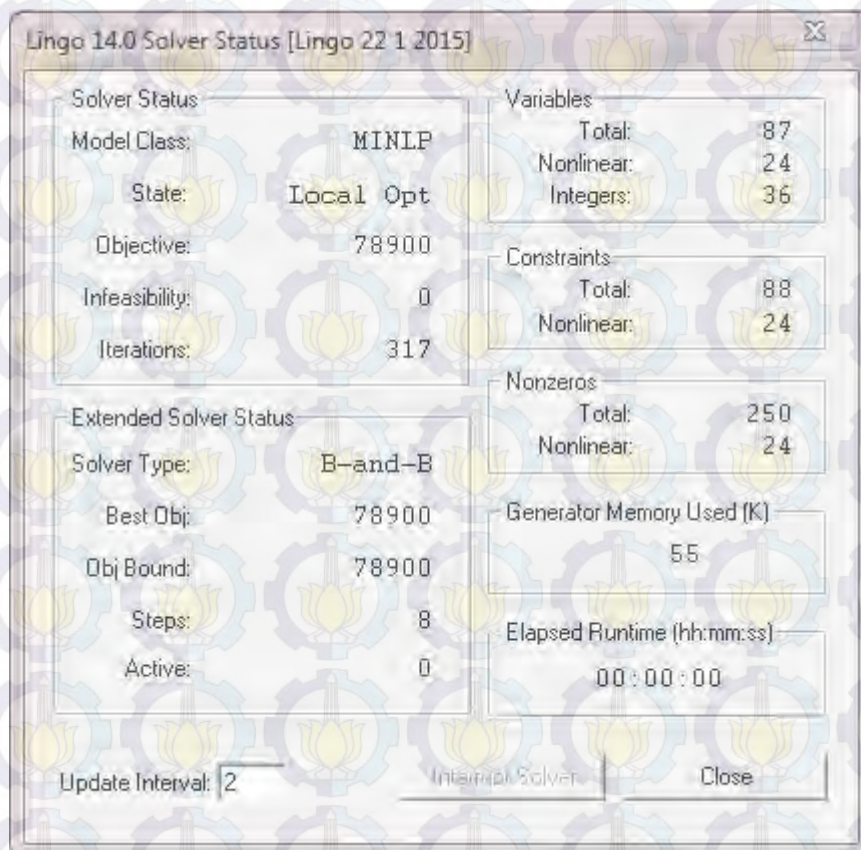
Lahan	Periode					
	1	2	3	4	5	6
1	1			2		

Pada Tabel 4.5 diketahui bahwa urutan tanam optimal adalah 1-2. Tanaman 1 ditanam pada periode 1 sampai 3, sedangkan tanaman 2 ditanam periode 4 sampai 6. Lahan yang digunakan hanya lahan 1.

Tabel 4.6. Solusi Perhitungan Manual Terbaik

Revenue	Rp 230.000
SeedCost	Rp 64.800
PlantCost	Rp 86.300
Total Profit	Rp 78.900

Perhitungan menggunakan *software* LINGO menghasilkan solusi terbaik sebesar Rp 78.900. Hasil *running* LINGO yang menunjukkan solusi terbaik dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Hasil *Running Software* LINGO Uji Verifikasi

Dari hasil perhitungan manual dan *running software* LINGO diketahui bahwa kedua metode perhitungan memberikan nilai yang sama. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model formulasi pada *software* LINGO dikatakan *verified*. Oleh karena itu, dapat dilakukan percobaan numerik dengan menggunakan *software* LINGO untuk menganalisis perilaku model.

BAB 5

PERCOBAAN NUMERIK DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dilakukan percobaan numerik dengan beberapa skenario permasalahan untuk selanjutnya dilakukan analisis terhadap model yang telah dikembangkan. Percobaan numerik dilakukan untuk model yang telah dijelaskan pada bab 4, dengan tujuan untuk membandingkan performansi model pada beberapa parameter input yang diberikan. Percobaan numerik yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Percobaan Numerik dan Tujuannya

Percobaan	Skenario	Tujuan	Parameter Input
1	Menjalankan model dengan skenario perubahan kapasitas lahan diturunkan dan ditingkatkan 10% dan 20%.	Mengetahui pengaruh skenario yang diterapkan terhadap keputusan penjadwalan rotasi tanaman, aspek biaya, dan profit yang diperoleh.	A_k
2	Menjalankan model dengan skenario perubahan produktivitas tanaman diturunkan dan ditingkatkan 10% dan 20%.	Mengetahui pengaruh skenario yang diterapkan terhadap keputusan penjadwalan rotasi tanaman, aspek biaya, dan profit yang diperoleh.	P_{irk}
3	Menjalankan model dengan skenario perubahan waktu tingkat permintaan yang dimajukan dan dimundurkan selama satu, dan dua periode.	Mengetahui pengaruh skenario yang diterapkan terhadap keputusan penjadwalan rotasi tanaman, aspek biaya, dan profit yang diperoleh.	D_{it}
4	Menjalankan model dengan skenario perubahan pada tingkat permintaan yang dinaikan dan diturunkan 20% dan 40%.	Mengetahui pengaruh skenario yang diterapkan terhadap keputusan penjadwalan rotasi tanaman, aspek biaya, dan profit yang diperoleh.	D_{it}

5.1. Parameter Percobaan Numerik

Percobaan numerik dilakukan untuk menguji dan mengamati perilaku model penjadwalan penanaman mempertimbangkan rotasi tanaman pada produk pertanian perkotaan yang telah dikembangkan. Percobaan numerik dilakukan dengan menggunakan data 2 jenis tanaman dengan 2 botanic family, 1 tanaman semu yang merepresentasikan periode pemberaan, 9 minggu periode perencanaan,

dan 2 lahan petani. Data yang digunakan pada percobaan numerik ini merupakan data sekunder dikarenakan penelitian ini lebih berfokus pada pengembangan model sehingga data sekunder yang digunakan dirasa cukup untuk menggambarkan perilaku model yang telah dikembangkan. Beberapa parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 5.2. Parameter Percobaan Numerik

Parameter	Notasi	Satuan	Tanaman (i)		
			1	2	3
Biaya pembibitan	SC	Rp/kg	250	350	0
Biaya penanaman	PC	Rp/kg	350	300	0
			Lahan		
			1	2	
Biaya sewa lahan	RC	Rp/land	50000	60000	
Kapasitas lahan	A	m ²	100	125	

Tabel 5.3. Data Botanic Family, Periode Tanam, Waktu Produksi, dan Tingkat Permintaan Tanaman Percobaan Numerik

i	Fp	I _i		t _i	O _i	D _{it}								
		E _i	L _i			1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	5	4	2	0	0	100	200	0	0	0	0	0
2	2	3	7	3	2	0	0	0	0	0	0	300	300	0
3	3	1	9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pada Tabel 5.3, dapat dilihat untuk tanaman (i) 1 dan 2 merupakan tanaman dengan botanic family yang berbeda, sehingga kedua tanaman dapat ditanam secara bergilir. Sedangkan, i=3 merupakan tanaman artifisial yang mewakili periode pemberaan yang tidak memiliki permintaan.

Tabel 5.4. Matriks Parameter Produktivitas Lahan Percobaan Numerik

i	P _{irk}			
	r=1		r=2	
	1	2	1	2
1	0.99	0.98	0.99	0.98
2	0.99	0.98	0	0
3	0	0	0	0

Tabel 5.4 menjelaskan bahwa tiap tanaman memiliki nilai produktivitas berbeda sesuai dengan waktu panen dan lahan tanamnya. Hal ini dapat disebabkan karena faktor kondisi tanah dan lingkungan tempat lahan tersebut berada.

Tabel 5.5. Harga Jual Tanaman Percobaan Numerik

i	C_{it}								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	900	900	1500	100	1500	900	1000	1000	900
2	700	700	700	700	700	800	1000	1000	700
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.2 Percobaan Numerik

Pada penelitian ini akan dilakukan percobaan numerik dengan beberapa skenario kejadian. Adapun skenario kejadian yang digunakan pada percobaan numerik ini adalah sebagai berikut.

5.2.1 Percobaan Numerik 1

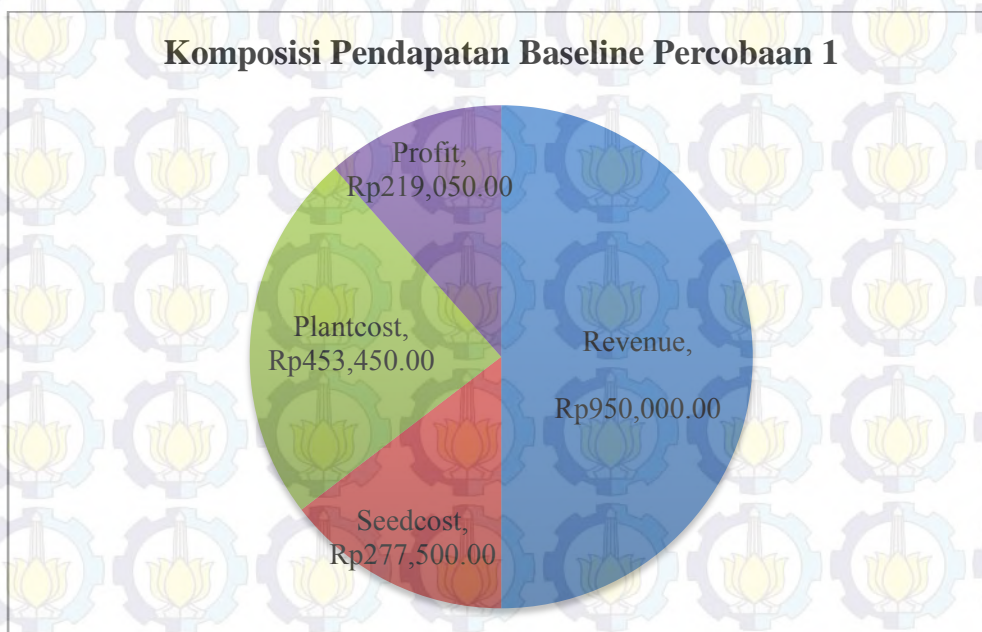
Percobaan numerik 1 dilakukan dengan tujuan untuk melihat bagaimana perilaku model jika tingkat permintaan diubah komposisi waktunya. Parameter yang akan diubah pada percobaan ini adalah parameter tingkat permintaan yang dimajukan satu dan dua periode, dan dimundurkan satu dan dua periode, sedangkan parameter lain dianggap tetap. Adapun perubahan tingkat permintaan pada percobaan numerik 1 ditunjukkan pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6. Perubahan Tingkat Permintaan Percobaan Numerik 1

i	Baseline								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	100	200	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	300	300	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
i	Uji Coba 1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	100	200	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0		300	300
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
i	Uji Coba 2								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	100	200	0	0	0
2	300	0	0	0	0	0	0	0	300
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
i	Uji Coba 3								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	100	200	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	300	300		0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
i	Uji Coba 4								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	100	200	0	200	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	300	300	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.2.1.1 Percobaan Numerik *Baseline*

Setelah dilakukan *running* dengan *software* LINGO diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 5.1. Komposisi Pendapatan *Baseline*

Pada Gambar 5.1 dapat dilihat bahwa total pendapatan *Urban Farming Center* dengan parameter normal adalah Rp 950.000 dengan keuntungan yang diperoleh sebesar Rp 23.06% dari pendapatan. Komponen penyumbang biaya terbesar adalah biaya selama proses penanaman yang mencapai 47.73% dari pendapatan, disusul dengan biaya selama proses pembibitan sebesar 29.21% dari pendapatan. Jika dihitung secara total maka dapat disimpulkan bahwa 76.94% pendapatan yang diperoleh oleh *Urban Farming Center* adalah biaya dan 23.06% pendapatannya berupa keuntungan. Jadwal penanaman untuk baseline dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini:

Tabel 5.7 Jadwal Penanaman *Baseline*

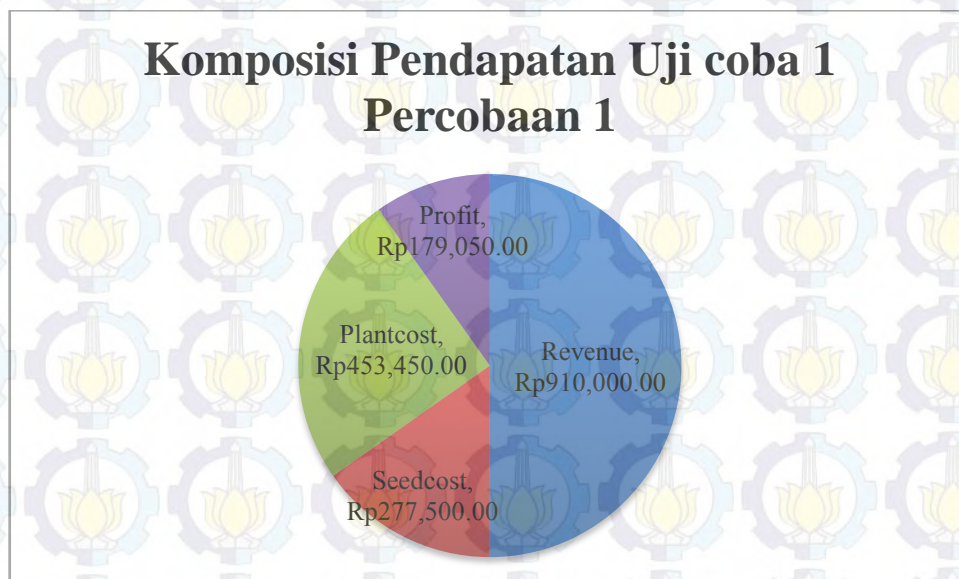
k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1				2			3		1				2			3	
	2	1				3	2				1				3	2			

Pada Tabel 5.7 dapat dilihat urutan tanam optimal adalah 1-2-3 dan 1-3-2. Lahan yang digunakan untuk memenuhi semua permintaan tanaman adalah lahan 1. Hal ini dikarenakan sistem akan memilih biaya sewa lahan yang paling murah

terlebih dahulu, dan dipastikan bahwa pada lahan yang terpilih kapasitasnya memenuhi. Dari beberapa kemungkinan jadwal penanaman yang layak, terpilih dua jadwal penanaman optimal ($s=1,2$). Dua jadwal penanaman ini mampu dipenuhi oleh satu lahan, dimana lahan tersebut akan dibagi menjadi 2 plot lahan yang luasnya ditentukan sesuai kebutuhan untuk melakukan dua jadwal penanaman tersebut. Jika dilihat, tanaman 1 akan memenuhi permintaan periode 3 dan 4 dengan jadwal penanaman 1 dan 2. Sedangkan tanaman 2 akan memenuhi permintaan periode 7 dengan jadwal penanaman ke-1, dan memenuhi permintaan periode 8 dengan jadwal penanaman ke-2. Dapat dilihat pada Tabel 5.7 bahwa pada kedua siklus jadwal penanamannya sama. Satu siklus merupakan satu *planning horizon*. Pada pengembangan model penjadwalan rotasi tanaman ini, diasumsikan tidak ada inisial inventory, dan tidak ada jadwal rotasi tanaman pada horizon sebelumnya.

5.2.1.2 Uji Coba 1

Setelah dilakukan *running* dengan menggunakan *software* LINGO didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 5.2. Komposisi Pendapatan Uji Coba 1 Percobaan 1

Pada Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa keuntungan pada uji coba 1 lebih kecil dibanding dengan baseline. Sedangkan jika dilihat dari komposisi biaya pada uji coba 1 sama persis dengan baseline. Hal ini terjadi karena pendapatan yang

diperoleh juga berbeda, dimana uji coba 1 lebih kecil dari baseline. Sehingga dengan biaya yang sama, keuntungan yang diperoleh akan berbeda dan menghasilkan keuntungan yang lebih kecil. Perubahan waktu permintaan akan berakibat pada pendapatan karena harga jual tanaman yang berbeda pada setiap periode. Pada uji coba ini dilakukan perubahan waktu permintaan yang dimundurkan satu periode, dimana harga jual tanaman pada periode ini lebih murah dibanding dengan periode normal. Jadwal penanaman untuk uji coba 1 percobaan 1 dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Jadwal Penanaman Uji Coba 1 Percobaan 1

k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3		1				2			3		1				2			3
	4		1				3	2				1				3	2		

Pada Tabel 5.8 dapat dilihat bahwa urutan penanaman optimal adalah 1-2-3 dan 1-3-2. Urutan penanaman ini sama jika dibanding dengan urutan penanaman pada baseline. Namun, jadwal penanaman uji coba 1 berubah jika dibanding baseline. Pada uji coba 1 lahan yang digunakan hanya lahan 1 karena kapasitas lahan 1 masih memenuhi permintaan yang ada. Jadwal penanaman yang digunakan adalah $s=3,4$. Tanaman 1 yang memiliki permintaan pada periode 4 dan 5, akan dipenuhi oleh jadwal penanaman 3 dan 4. Sedangkan untuk tanaman 2 yang memiliki permintaan pada periode 8 akan dipenuhi oleh jadwal penanaman 3 dan permintaan periode 9 akan dipenuhi oleh jadwal penanaman 4. Perbedaan jadwal tanaman pada uji coba 1 dengan baseline terjadi karena perubahan waktu permintaan yang dimundurkan satu periode. Sistem akan memilih jadwal penanaman yang optimal dari beberapa jadwal penanaman yang layak untuk memenuhi permintaan.

5.2.1.2. Uji Coba 2

Setelah dicoba *running* dengan menggunakan *software* LINGO ternyata didapatkan bahwa hasilnya tidak layak (*infeasible solution*). Hal ini terjadi karena sistem tidak dapat menemukan jadwal penanaman yang optimal untuk memenuhi permintaan pada uji coba 2. Waktu permintaan untuk tanaman 2 yang

dimundurkan dua periode yaitu periode 9 dan 1 tidak dapat dipenuhi. Tanaman 2 memiliki batas waktu akhir tanam yang diperbolehkan pada periode 7. Dengan 2 periode waktu produksi, maka periode maksimal permintaan untuk tanaman 2 adalah periode 9. Oleh sebab itu, pada uji coba 2 dimana permintaan untuk tanaman 2 terjadi di periode 1, hasilnya menunjukkan ketidaklayakan.

5.2.1.3 Uji Coba 3

Setelah dicoba *running* dengan menggunakan *software* LINGO ternyata didapatkan bahwa hasilnya tidak layak (*infeasible solution*). Hal ini terjadi karena sistem tidak dapat menemukan jadwal penanaman yang optimal untuk memenuhi permintaan pada uji coba 2. Waktu permintaan untuk tanaman 1 yang dimajukan satu periode yaitu periode 2 dan 3 tidak dapat dipenuhi. Tanaman 1 memiliki waktu tanam yang diperbolehkan dari periode 1 hingga 5. Saat permintaan terjadi pada periode 2 dan 3 berarti tanaman 1 harus mulai ditanam pada periode 9, namun pada periode tersebut tanaman 1 tidak boleh ditanam. Oleh sebab itu, pada uji coba 3 dimana permintaan untuk tanaman 1 terjadi di periode 2 dan 3, hasilnya menunjukkan ketidaklayakan.

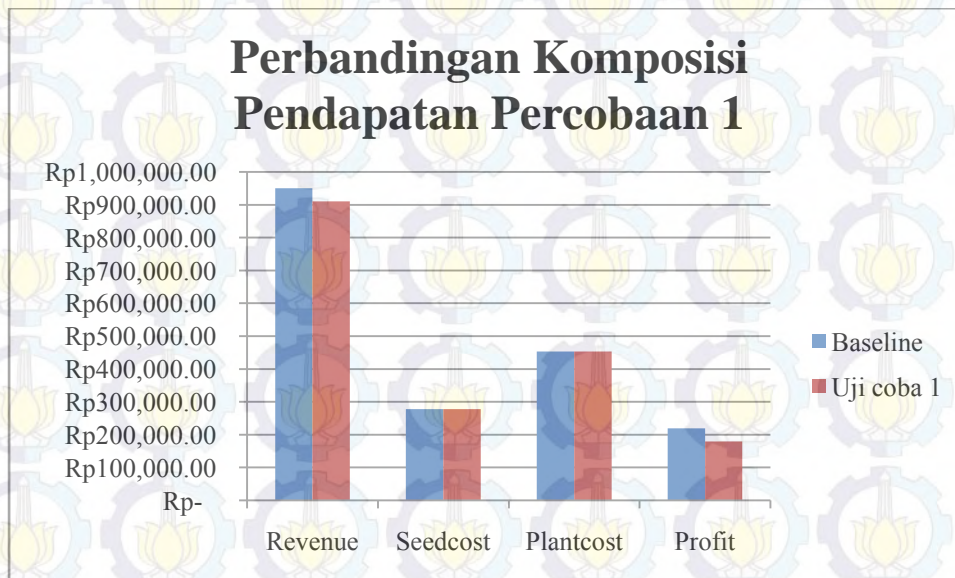
5.2.1.4 Uji Coba 4

Setelah dicoba *running* dengan menggunakan *software* LINGO ternyata didapatkan bahwa hasilnya tidak layak (*infeasible solution*). Hal ini terjadi karena sistem tidak dapat menemukan jadwal penanaman yang optimal untuk memenuhi permintaan pada uji coba 4. Waktu permintaan untuk tanaman 1 yang dimajukan dua periode yaitu periode 1 dan 2 tidak dapat dipenuhi. Tanaman 1 memiliki waktu tanam yang diperbolehkan dari periode 1 hingga 5. Saat permintaan terjadi pada periode 1 dan 2 berarti tanaman 1 harus mulai ditanam pada periode 8, namun pada periode tersebut tanaman 1 tidak boleh ditanam. Oleh sebab itu, pada uji coba 4 dimana permintaan untuk tanaman 1 terjadi di periode 1 dan 2, hasilnya menunjukkan ketidaklayakan.

5.2.1.5. Analisis Percobaan Numerik 1

Setelah dilakukan 4 kali uji coba pada percobaan 1, tiga diantaranya menunjukkan tidak adanya solusi yang layak (*infeasible solution*). Uji coba 2, 3,

dan 4 tidak menunjukkan adanya solusi. Pada uji coba 2, 3 dan 4 terdapat permintaan yang tidak dapat dipenuhi karena waktu terjadinya permintaan yang tidak sesuai dengan waktu tanam yang diperbolehkan. Perubahan waktu permintaan akan mempengaruhi kebijakan penanaman dan keuntungan yang diperoleh *Urban Farming Center*. Jadwal penanaman optimal akan menyesuaikan dengan kapan permintaan itu terjadi, dan dipengaruhi oleh faktor waktu tanam yang diperbolehkan untuk setiap tanaman (I_i). Saat terjadi permintaan namun waktu tanam tidak memenuhi, maka model tidak bisa menemukan solusi. Uji coba 1 memberikan solusi optimal dengan tingkat keuntungan yang lebih kecil dibandingkan baseline. Perbandingan keuntungan yang diperoleh *Urban Farming Center* dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Perbandingan komposisi pendapatan percobaan 1

Pada gambar 5.3 dapat dilihat bahwa keuntungan yang diperoleh pada uji coba 1 lebih kecil dibanding baseline. Keuntungan yang diperoleh *Urban Farming Center* dipengaruhi oleh tingkat harga jual tanaman pada tiap periode. Jika harga jualnya rendah, maka keuntungan akan rendah. Sebaliknya jika harga jual tinggi, maka keuntungan juga tinggi. Hal ini dikarenakan biaya yang dikeluarkan tetap sama untuk tiap periode.

5.2.2 Percobaan Numerik 2

Percobaan numerik 2 dilakukan dengan tujuan untuk melihat bagaimana tingkat sensitivitas model yang dikembangkan terhadap perubahan tingkat permintaan. Parameter yang akan diubah pada percobaan ini adalah parameter tingkat permintaan yang dinaikkan dan diturunkan sebanyak 20%, dan 40% dari tingkat permintaan awal sedangkan parameter lain dianggap tetap. Adapun perubahan tingkat permintaan pada percobaan numerik 2 ditunjukkan pada Tabel 5.9.

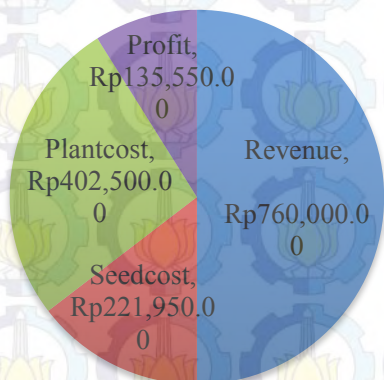
Tabel 5.9. Perubahan Tingkat Permintaan Percobaan Numerik 2

i	Uji Coba 1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	80	160	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	240	240	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
i	Uji Coba 2								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	60	120	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	180	180	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
i	Uji Coba 3								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	120	240	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	360	360	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
i	Uji Coba 4								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	140	280	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	420	420	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.2.2.1 Uji Coba 1

Setelah dilakukan *running* dengan menggunakan *software* LINGO didapatkan hasil sebagai berikut:

Komposisi Pendapatan Uji Coba 1 Percobaan 2



Gambar 5.4 Komposisi Pendapatan Uji Coba 1 Percobaan 2

Pada Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa *revenue* yang didapatkan *Urban Farming Center* menurun seiring dengan penurunan permintaan. Jika dibandingkan dengan fungsi tujuan *baseline* dapat dilihat bahwa komposisi biaya dan keuntungan yang didapatkan oleh *Urban Farming Center* berbeda. Persentase keuntungan yang didapatkan *Urban Farming Center* pada uji coba 1 5.22% lebih rendah dibanding keuntungan pada *baseline*. Jika dilihat dari persentase penurunan tingkat keuntungan tersebut, dapat dikatakan penurunan permintaan mempengaruhi secara signifikan keuntungan yang diperoleh *Urban Farming Center*. Jadwal penanaman dengan penurunan permintaan sebesar 20% dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10. Jadwal Penanaman Uji Coba 1 Percobaan 2

k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1				2			3		1				2				3
	2	1				3	2				1				3	2			

Seperti dilihat pada Tabel 5.10 diatas, jadwal penanaman tidak berpengaruh dengan penurunan permintaan. Jadwal penanaman tidak berubah jika dibandingkan dengan jadwal penanaman pada *baseline*. Hal ini dikarenakan dengan penurunan permintaan 20%, kapasitas lahan masih dapat memenuhi jumlah tanaman yang ditanam. Sehingga solusi optimal untuk penjadwalan tanamnya tidak berubah.

5.2.2.2 Uji Coba 2

Setelah dilakukan *running* dengan menggunakan *software* LINGO didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 5.5 Komposisi Pendapatan Uji Coba 2 Percobaan 2

Pada Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa *revenue* yang didapatkan *Urban Farming Center* menurun seiring dengan penurunan permintaan. Dengan penurunan tingkat permintaan sebesar 40%, keuntungan yang diperoleh menurun secara signifikan jika dibanding dengan baseline. Persentase keuntungan yang diperoleh pada uji coba 2 hanya 9.03% dari pendapatan, yakni menurun sebesar 14.03% dari keuntungan yang diperoleh pada baseline. Penurunan persentase keuntungan ini diakibatkan biaya yang terjadi dengan menurunkan permintaan semakin tinggi. Pada uji coba 2 ini, 90.97% dari pendapatan merupakan biaya, dan hanya 9.03% merupakan keuntungan. Jadwal penanaman dengan penurunan permintaan sebesar 40% dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Jadwal Penanaman Uji Coba 2 Percobaan 2

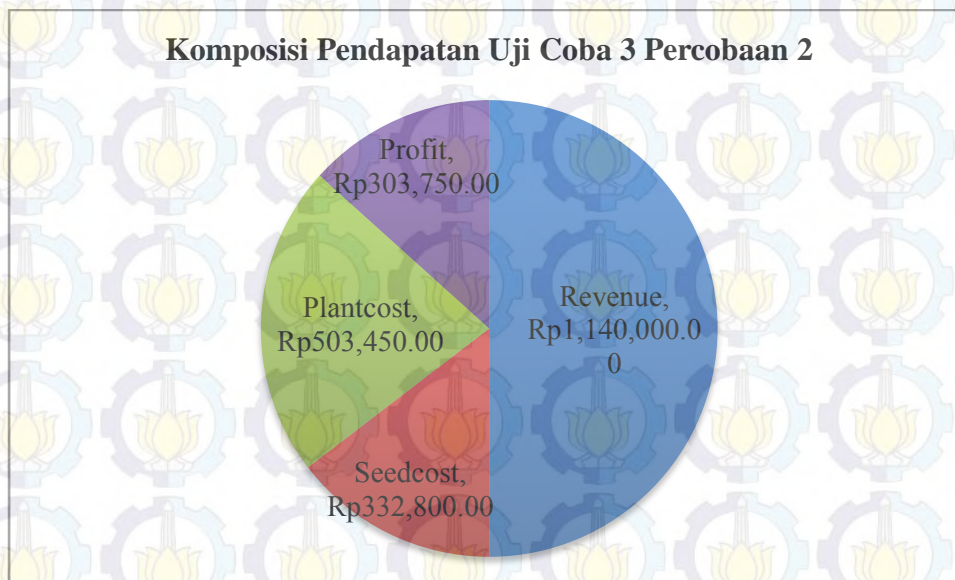
k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1				2			3		1				2			3	
	2	1				3	2				1				3	2			

Pada Tabel 5.11 dapat dilihat jadwal penanaman tidak berubah jika dibanding dengan jadwal penanaman pada baseline. Lahan yang digunakan tetap

hanya lahan 1. Hal ini dikarenakan penurunan permintaan tidak mempengaruhi kapasitas lahan, yang justru sangat mencukupi untuk memenuhi permintaan. Sehingga tidak perlu menambah lahan tambahan untuk menanam tanaman. Urutan tanam juga tidak berubah, karena pada uji coba ini waktu permintaannya tidak berubah, dan dengan tingkat permintaan yang diturunkan 40% masih dapat dilakukan oleh jadwal penanaman yang sama seperti pada kondisi permintaan normal.

5.2.2.3 Uji Coba 3

Setelah dilakukan *running* dengan menggunakan *software* LINGO didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 5.6. Komposisi Pendapatan Uji Coba 3 Percobaan 2

Pada Tabel 5.6 dapat dilihat bahwa *revenue* yang didapatkan *Urban Farming Center* meningkat seiring dengan peningkatan permintaan. Jika dibandingkan dengan fungsi tujuan baseline dapat dilihat bahwa komposisi biaya dan keuntungan yang didapatkan oleh *Urban Farming Center* berbeda. Solusi optimal yang ditunjukkan oleh model menunjukkan bahwa hasil uji coba 3 memiliki solusi optimal lebih baik dari pada uji baseline. Persentase keuntungan yang didapatkan *Urban Farming Center* pada uji coba 3 meningkat 3.59% lebih tinggi dibanding keuntungan pada baseline. Peningkatan tersebut secara persentase menunjukkan angka yang signifikan. Persentase biaya yang

dikeluarkan pada baseline lebih besar dibanding uji coba 3. Jadwal penanaman dengan peningkatan permintaan sebesar 20% dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

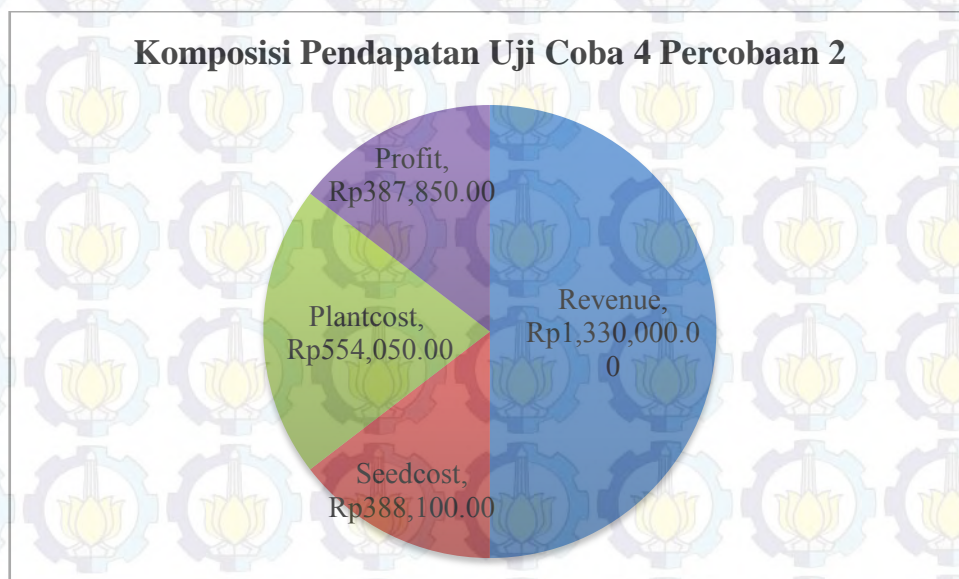
Tabel 5.12 Jadwal Penanaman Uji Coba 3 Percobaan 2

k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1				2			3		1				2			3	
	2	1				3	2				1				3	2			

Pada Tabel 5.12 dapat dilihat bahwa jadwal penanaman uji coba 3 tidak berubah. Dengan peningkatan permintaan sebesar 20% ternyata tidak mengubah jadwal penanaman secara signifikan. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan yang masih dapat memenuhi permintaan yang dinaikkan hingga 20%. Dengan jadwal penanaman uji coba 3 yang sama dengan jadwal penanaman pada baseline, mengakibatkan solusi optimal yang diperoleh uji coba 3 menjadi lebih baik daripada baseline. Batasan pada model belum aktif untuk mengubah keputusan optimal terkait kebijakan penanaman.

5.2.2.4 Uji Coba 4

Setelah dilakukan *running* dengan menggunakan *software* LINGO didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 5.7 Komposisi Pendapatan Uji Coba 4 Percobaan 2

Pada Gambar 5.7 dapat dilihat bahwa peningkatan tingkat permintaan sebesar 40% memberikan pengaruh pada tingkat keuntungan yang didapatkan. Tingkat keuntungan pada uji coba 4 lebih besar dibanding uji coba 3 dan baseline. Tingkat persentase keuntungan yang didapat pada uji coba 4 lebih besar 6.10% dari baseline. Bisa disimpulkan bahwa peningkatan permintaan ini memberi perubahan yang signifikan. Hal ini terjadi karena kebijakan penanaman tidak berubah. Peningkatan permintaan berarti akan meningkatkan jumlah yang harus diproduksi sehingga otomatis jumlah bibit dan jumlah tanaman yang ditanam akan bertambah. Hal ini menyebabkan biaya pada pembibitan dan penanaman juga meningkat. Sehingga rasio antara peningkatan profit dan biaya sama. Adapun jadwal penanaman uji coba 4 percobaan 2 adalah sebagai berikut.

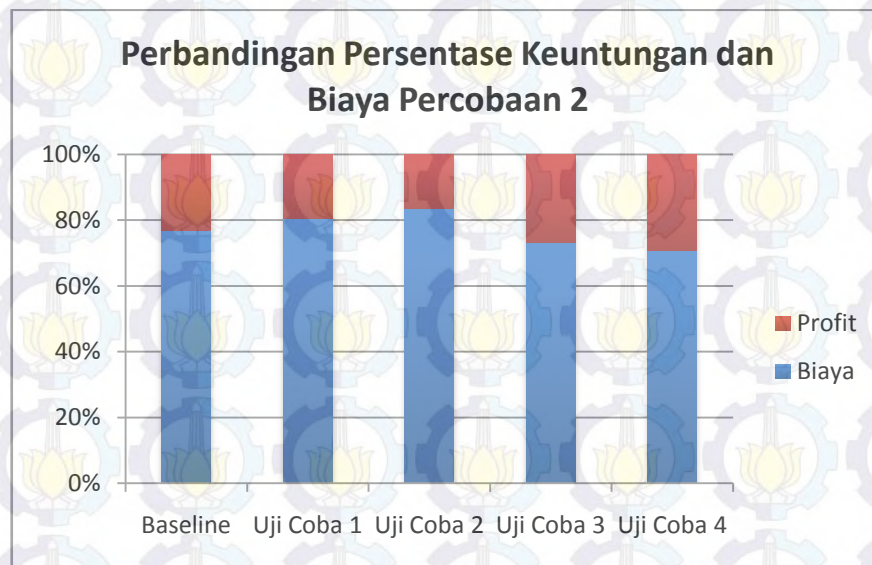
Tabel 5.13 Jadwal Penanaman Uji Coba 4 Percobaan 2

k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1				2			3		1				2			3	
	2	1				3	2				1				3	2			

Pada Tabel 5.13 dapat dilihat bahwa jadwal penanaman uji coba 4 tidak berubah. Dengan peningkatan permintaan sebesar 40% ternyata tidak mengubah jadwal penanaman secara signifikan. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan yang masih dapat memenuhi permintaan yang dinaikkan hingga 40%. Dengan jadwal penanaman uji coba 4 yang sama dengan jadwal penanaman pada baseline, mengakibatkan solusi optimal yang diperoleh uji coba 4 menjadi lebih baik daripada baseline. Batasan pada model belum aktif untuk mengubah keputusan optimal terkait kebijakan penanaman.

5.2.2.5 Analisis Percobaan Numerik 2

Setelah dilakukan 4 kali uji coba pada percobaan numerik 2, dapat diketahui bahwa peningkatan permintaan mempengaruhi secara signifikan keputusan model dalam menentukan solusi optimal permasalahan. Peningkatan permintaan secara kualitatif mengalami peningkatan yang signifikan. Persentase tingkat keuntungan yang didapatkan oleh *Urban Farming Center* ditunjukkan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Perbandingan Biaya dan Keuntungan Percobaan 2

Pada Gambar 5.8 diatas, profit yang diperoleh memiliki persentase yang berubah secara signifikan. Jika dibandingkan uji coba 1 dan 2 dengan baseline, biayanya akan semakin meningkat seiring dengan semakin menurunnya tingkat permintaan, sedangkan keuntungannya akan semakin sedikit. Sedangkan jika dibandingkan uji coba 3 dan 4 dengan baseline, maka profitnya akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya tingkat permintaan. Dari 4 kali uji coba yang dilakukan, tidak terjadi adanya perubahan pada kebijakan penanaman. Jadwal tanaman untuk permintaan yang diturunkan dari 20%-40% dan dinaikkan 20%-40% ternyata tidak berdampak signifikan. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan yang digunakan masih dapat memenuhi permintaan tersebut. Dapat disimpulkan dari percobaan numerik 2, peningkatan dan penurunan permintaan berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan profit yang didapat *Urban Farming Center*, namun tidak berpengaruh terhadap jadwal penanaman.

5.2.3 Percobaan Numerik 3

Percobaan numerik 3 dilakukan dengan tujuan untuk melihat bagaimana sensitivitas model yang telah dikembangkan terhadap produktivitas lahan pertanian. Parameter yang diubah pada percobaan ini adalah produktivitas lahan pertanian diturunkan dan dinaikkan sebanyak 10%, dan 20% dari produktivitas lahan pertanian awal sedangkan parameter lain dianggap tetap. *Baseline* dari

percobaan ini adalah parameter pada *baseline* percobaan numerik 1. Adapun perubahan produktivitas lahan pertanian ditunjukkan pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Perubahan Produktivitas Lahan (p_{irk})

i	Uji coba 1				Uji coba 2			
	p_{irk}				p_{irk}			
	r=1		r=2		r=1		r=2	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0.891	0.882	0.891	0.882	0.792	0.784	0.792	0.784
2	0.891	0.882	0	0	0.792	0.784	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0

i	Uji coba 3				Uji coba 4			
	p_{irk}				p_{irk}			
	r=1		r=2		r=1		r=2	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1.089	1.078	1.089	1.078	1.188	1.176	1.188	1.176
2	1.089	1.078	0	0	1.188	1.176	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0

5.2.3.1 Uji Coba 1

Setelah dilakukan *running* dengan menggunakan *software* LINGO didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 5.9 Komposisi Pendapatan Uji Coba 1 Percobaan 2

Pada Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa penurunan produktivitas lahan pertanian sebesar 10% memberikan pengaruh yang signifikan pada tingkat keuntungan yang didapatkan. Penurunan tingkat keuntungan yang signifikan ini

disebabkan oleh besarnya biaya yang dikeluarkan. Jika dibandingkan dengan *baseline*, penurunan produktivitas lahan pertanian sebesar 10% meningkatkan total biaya sebesar 6.22% dan menurunkan tingkat keuntungan yang diperoleh sebesar 6.22%. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat produktivitas lahan pertanian menjadi hal yang sensitif mempengaruhi keputusan optimal model.

Tabel 5.15 Jadwal Penanaman Uji Coba 1 Percobaan 3

k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1				2			3		1				2			3	
	2	1				3	2				1				3	2			

Pada Tabel 5.15 diketahui bahwa tidak terjadi perubahan pada jadwal penanaman. Pada penurunan produktivitas lahan sebesar 10%, jumlah benih yang dibutuhkan dan jumlah tanaman yang ditanam akan lebih banyak. Hal ini karena rendahnya produktivitas lahan pertanian pada uji coba 1.

5.2.3.2 Uji Coba 2

Setelah dilakukan *running* dengan menggunakan *software* LINGO didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 5.10 Komposisi Pendapatan Uji Coba 2 Percobaan 3

Pada Gambar 5.10 dapat diketahui bahwa rendahnya produktivitas lahan pertanian mengakibatkan keuntungan yang didapatkan *Urban Farming Center* menurun sampai 13.99% dari keuntungan yang diperoleh pada *baseline*.

Penurunan keuntungan ini menjadi semakin signifikan karena rendahnya produktivitas lahan pertanian akan berdampak pada meningkatnya jumlah produk yang gagal. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah bibit yang dibutuhkan harus lebih banyak untuk dapat memproduksi jumlah tanaman yang dapat memenuhi tingkat permintaan. Kebutuhan akan jumlah bibit dan jumlah tanaman ini yang memicu besarnya biaya pembenihan dan penanaman. Jadwal penanaman uji coba 2 percobaan 3 dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Jadwal Penanaman Uji Coba 2 Percobaan 3

k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1				2			3		1				2			3	
	2	1				3	2				1				3	2			

Pada Tabel 5.16 jadwal penanaman tidak mengalami perubahan jika dibanding dengan jadwal penanaman pada baseline. Hal ini dikarenakan jumlah tanaman yang ditanam masih diatas batas kapasitas lahan yang tersedia.

5.2.3.3 Uji Coba 3

Setelah dilakukan *running* dengan menggunakan *software* LINGO didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambbar 5.11 Komposisi Pendapatan Uji Coba 3 Percobaan 3

Pada Gambar 5.11 dapat dilihat bahwa keuntungan yang didapat dengan meningkatkan produktivitas lahan 10% akan semakin meningkatkan secara

signifikan. Peningkatan produktivitas lahan sebesar 10% menghasilkan peningkatan keuntungan sebesar 5.13% jika dibanding dengan keuntungan baseline. Peningkatan ini dikarenakan dengan produktivitas yang meningkat, maka jumlah bibit dan jumlah tanaman yang dibutuhkan akan semakin sedikit. Hal ini yang mengakibatkan biaya pada pembibitan dan penanaman menjadi berkurang. Jadwal penanaman untuk uji coba 3 percobaan 3 dapat dilihat pada Tabel 5.17.

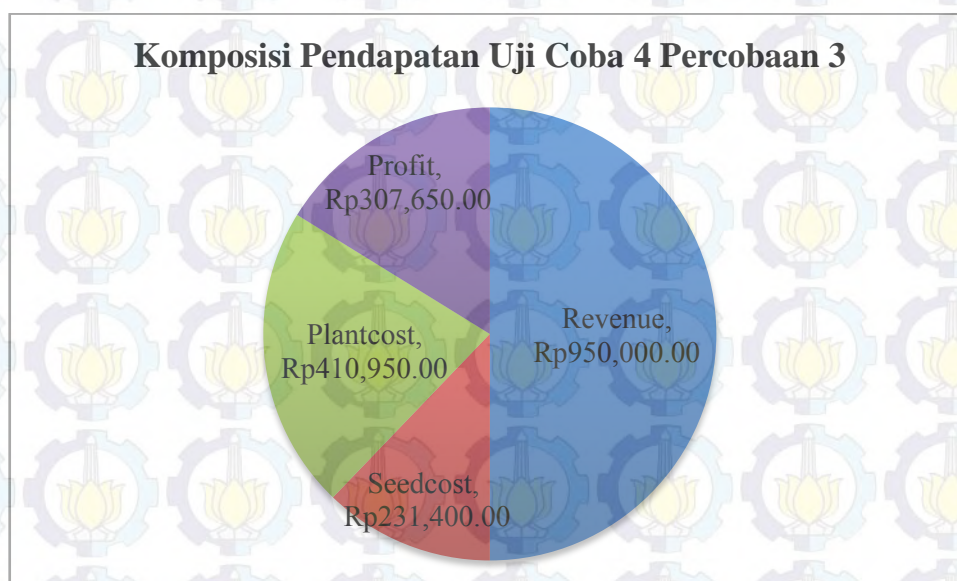
Tabel 5.17 Jadwal Penanaman Uji Coba 3 Percobaan 3

k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1				2			3		1				2			3	
	2	1				3	2				1				3	2			

Pada Tabel 5.17 dapat dilihat jadwal penanaman untuk uji coba 3 masih tetap sama dengan jadwal penanaman pada baseline. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan masih dapat memenuhi jumlah tanaman yang bertambah, meskipun produktivitas lahan ditingkatkan.

5.2.3.4 Uji Coba 4

Setelah dilakukan *running* dengan menggunakan *software* LINGO didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambbar 5.12 Komposisi Pendapatan Uji Coba 4 Percobaan 3

Pada Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa keuntungan yang didapat dengan meningkatkan produktivitas lahan 20% akan semakin meningkat secara signifikan. Peningkatan produktivitas lahan sebesar 20% menghasilkan peningkatan keuntungan sebesar 9.33% jika dibanding dengan keuntungan baseline. Peningkatan ini dikarenakan dengan produktivitas yang meningkat, maka jumlah bibit dan jumlah tanaman yang dibutuhkan akan semakin sedikit. Hal ini yang mengakibatkan biaya pada pembibitan dan penanaman menjadi berkurang. Jadwal penanaman untuk uji coba 4 percobaan 3 dapat dilihat pada Tabel 5.18.

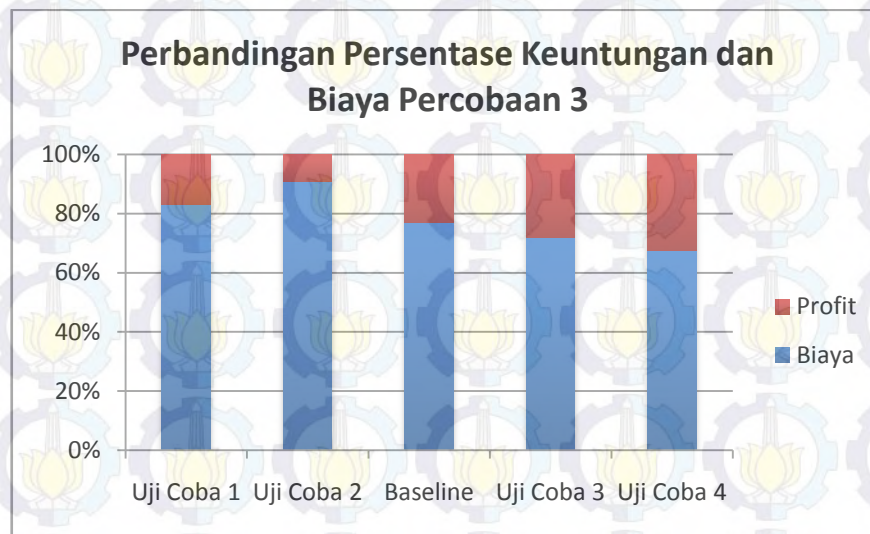
Tabel 5.18 Jadwal Penanaman Uji Coba 4 Percobaan 3

k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1				2			3		1				2			3	
	2	1				3	2				1				3	2			

Pada Tabel 5.18 dapat dilihat jadwal penanaman untuk uji coba 4 masih tetap sama dengan jadwal penanaman pada baseline. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan masih dapat memenuhi jumlah tanaman yang bertambah, meskipun produktivitas lahan ditingkatkan.

5.2.3.5 Analisis Percobaan Numerik 3

Setelah dilakukan 4 kali uji coba dengan menurunkan dan meningkatkan produktivitas lahan, dapat disimpulkan bahwa produktivitas lahan menjadi faktor yang sangat sensitif terhadap model dalam pengambilan keputusannya. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan tingkat keuntungan yang diperolehkan *Urban Farming Center* pada saat nilai produktivitas lahan diturunkan sebesar 10% dan 20%, serta terjadi peningkatan keuntungan yang signifikan saat produktivitas lahan ditingkatkan 10% dan 20%. Perbandingan persentase komposisi biaya dari pendapatan yang didapatkan oleh *Urban Farming Center* adalah sebagai berikut.



Gambar 5.13 Perbandingan Persentase Biaya dan Keuntungan Percobaan 3

Pada Gambar 5.13 diketahui bahwa tingkat keuntungan yang diperoleh *Urban Farming Center* menurun saat adanya penurunan produktivitas lahan pertanian, sedangkan saat peningkatan produktivitas lahan maka keuntungannya meningkat. Perubahan produktivitas lahan pertanian berdampak pada naik/turunnya biaya selama pembibitan dan penanaman secara signifikan. Hal ini dikarenakan semakin rendah produktivitas lahan pertanian, maka semakin banyak jumlah bibit dan jumlah tanaman yang dibutuhkan untuk memenuhi tingkat permintaan. Sebaliknya semakin tinggi produktivitas lahan pertanian, maka semakin sedikit jumlah bibit dan jumlah tanaman yang dibutuhkan untuk memenuhi tingkat permintaan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan produktivitas lahan berpengaruh terhadap keuntungan yang diperoleh *Urban Farming Center*.

Dalam percobaan numerik 3, penurunan produktivitas lahan yang dilakukan tidak mengubah jadwal penanaman. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan masih dapat memenuhi jumlah tanaman yang ditanam pada periode tersebut.

5.2.4 Percobaan Numerik 4

Percobaan numerik 4 dilakukan dengan tujuan untuk melihat tingkat sensitivitas pengaruh kapasitas lahan terhadap perubahan kebijakan penanaman. Parameter yang akan diubah pada percobaan ini adalah kapasitas lahan petani yang akan diturunkan dan dinaikan sebesar 10% dan 20% dari kapasitas lahan

normal. Parameter normal yang digunakan adalah parameter pada *baseline*. Adapun data perubahan kapasitas lahan ditunjukkan pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Perubahan Kapasitas Lahan Percobaan 4

Kapasitas lahan	Uji Coba 1	Uji Coba 2	Uji Coba 3	Uji Coba 4
1	90	80	110	120
2	112.5	100	137.5	150

5.2.4.1 Uji Coba 1

Setelah dilakukan *running* dengan menggunakan *software* LINGO didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 5.14 Komposisi Pendapatan Uji Coba 1 Percobaan 4

Pada Tabel 5.14 dapat dilihat bahwa komposisi pendapatan yang diperoleh *Urban Farming Center* dengan menurunkan kapasitas lahan sebesar 10% sama dibanding dengan *baseline*. Pada penurunan kapasitas lahan sebesar 10% tidak memberi perubahan terhadap keputusan model. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan pada uji coba 1 masih dapat memenuhi permintaan. Sehingga tidak ada batasan yang aktif dengan diturunkannya kapasitas lahan sebesar 10%. Jadwal penanaman uji coba 1 percobaan 4 dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 5.20 Jadwal Penanaman Uji Coba 1 Percobaan 4

k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1				2			3		1				2			3	
	2	1				3	2				1				3	2			

Pada Tabel 5.20 dapat dilihat bahwa jadwal penanaman tetap sama seperti jadwal penanaman kapasitas normal. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan yang diturunkan 10% masih dapat memenuhi permintaan.

5.2.4.2 Uji Coba 2

Setelah dilakukan *running* dengan menggunakan *software* LINGO didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 5.15 Komposisi Pendapatan Uji Coba 2 Percobaan 4

Pada Tabel 5.15 dapat dilihat bahwa komposisi pendapatan yang diperoleh *Urban Farming Center* dengan menurunkan kapasitas lahan sebesar 20% sama dibanding dengan baseline. Pada penurunan kapasitas lahan sebesar 20% tidak memberi perubahan terhadap keputusan model. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan pada uji coba 2 masih dapat memenuhi permintaan. Sehingga tidak ada batasan yang aktif dengan diturunkannya kapasitas lahan sebesar 20%. Jadwal penanaman uji coba 2 percobaan 4 dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 5.21 Jadwal Penanaman Uji Coba 2 Percobaan 4

k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1				2			3		1				2			3	
	2	1				3	2				1				3	2			

Pada Tabel 5.21 dapat dilihat bahwa jadwal penanaman tetap sama seperti jadwal penanaman kapasitas normal. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan yang diturunkan 20% masih dapat memenuhi permintaan.

5.2.4.3 Uji Coba 3

Setelah dilakukan *running* dengan menggunakan *software* LINGO didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 5.16 Komposisi Pendapatan Uji Coba 3 Percobaan 4

Pada Tabel 5.16 dapat dilihat bahwa komposisi pendapatan yang diperoleh *Urban Farming Center* dengan menaikkan kapasitas lahan sebesar 10% sama dibanding dengan baseline. Pada peningkatan kapasitas lahan sebesar 10% tidak memberi perubahan terhadap keputusan model. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan pada uji coba 3 masih dapat memenuhi permintaan. Sehingga tidak ada batasan yang aktif dengan dinaikkannya kapasitas lahan sebesar 10%. Jadwal penanaman uji coba 3 percobaan 4 dapat dilihat pada Tabel berikut:

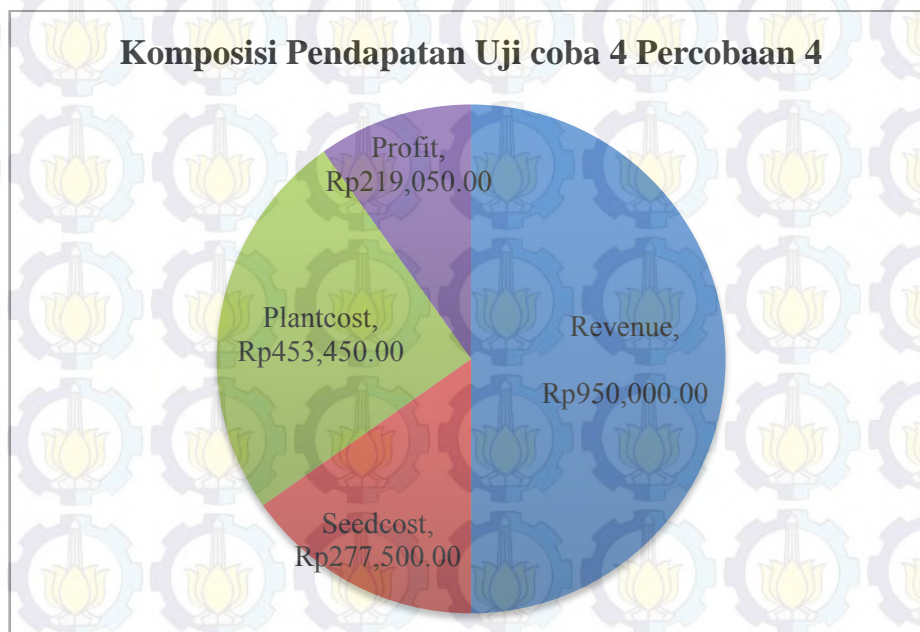
Tabel 5.22 Jadwal Penanaman Uji Coba 3 Percobaan 4

k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1				2			3		1				2			3	
	2	1				3	2				1				3	2			

Pada Tabel 5.22 dapat dilihat bahwa jadwal penanaman tetap sama seperti jadwal penanaman kapasitas normal. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan yang dinaikkan 10% masih dapat memenuhi permintaan.

5.2.4.4 Uji Coba 4

Setelah dilakukan *running* dengan menggunakan *software* LINGO didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 5.17 Komposisi Pendapatan Uji Coba 4 Percobaan 4

Pada Tabel 5.17 dapat dilihat bahwa komposisi pendapatan yang diperoleh *Urban Farming Center* dengan menaikkan kapasitas lahan sebesar 20% sama dibanding dengan baseline. Pada peningkatan kapasitas lahan sebesar 20% tidak memberi perubahan terhadap keputusan model. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan pada uji coba 4 masih dapat memenuhi permintaan. Sehingga tidak ada batasan yang aktif dengan dinaikkannya kapasitas lahan sebesar 20%. Jadwal penanaman uji coba 4 percobaan 4 dapat dilihat pada Tabel berikut:

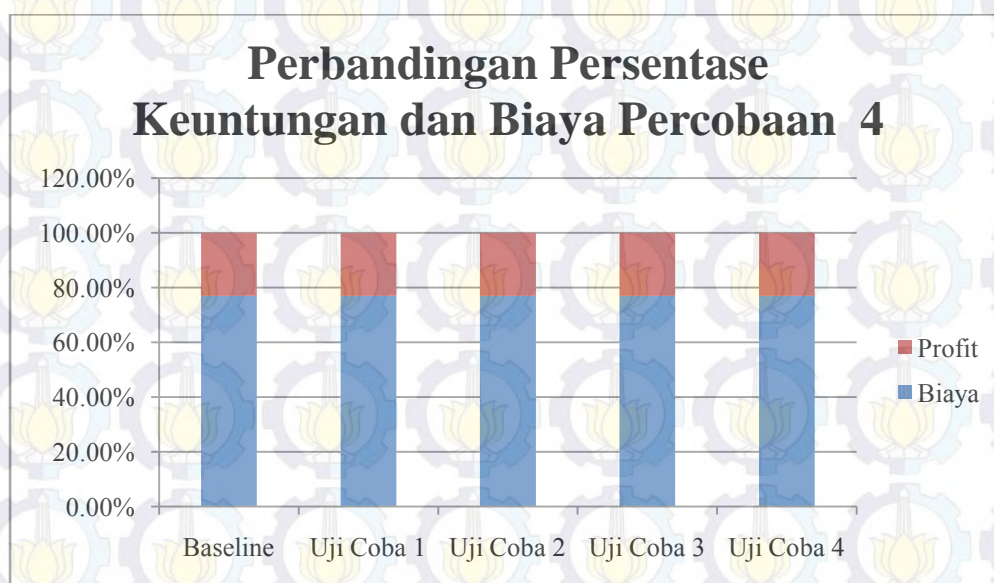
Tabel 5.23 Jadwal Penanaman Uji Coba 4 Percobaan 4

k	s	Siklus 1									Siklus 2								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1				2			3		1				2			3	
	2	1				3	2				1				3	2			

Pada Tabel 5.23 dapat dilihat bahwa jadwal penanaman tetap sama seperti jadwal penanaman kapasitas normal. Hal ini dikarenakan kapasitas lahan yang dinaikkan 20% masih dapat memenuhi permintaan.

5.2.4.5 Analisis Percobaan Numerik 4

Setelah dilakukan 4 kali uji coba pada percobaan numerik 4, dapat diketahui bahwa penurunan dan peningkatan kapasitas lahan pertanian sebesar 10% dan 20% tidak memberi berpengaruh terhadap perubahan kebijakan. Perbandingan persentase keuntungan dan biaya percobaan 4 dapat dilihat pada Gambar 5. 18



Gambar 5.18. Perbandingan Persentase Biaya dan Keuntungan Percobaan 4

Pada Gambar 5.18 diketahui bahwa tingkat keuntungan yang diperoleh *Urban Farming Center* pada percobaan numerik 4 adalah sama. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas lahan yang dinaikkan dan diturunkan sebesar 10% dan 20% tidak berpengaruh terhadap keuntungan yang diperoleh dan jadwal penanaman. Hal ini terjadi karena besarnya kapasitas lahan 1 yang dimiliki petani, sehingga saat parameter kapasitas diubah terutama saat nilainya diturunkan, kapasitas lahan 1 masih dapat memenuhi permintaan yang ada. Sehingga dapat

dikatakan bahwa kapasitas lahan tidak memiliki pengaruh terhadap keputusan model.

5.3 Analisis Hasil Percobaan Numerik 1, 2, 3, dan 4

Setelah dilakukan percobaan numerik dengan menggunakan beberapa skenario permasalahan, selanjutnya dapat dilakukan analisis terhadap perilaku model sebagai berikut.

1. Model yang telah dikembangkan pada proses pencarian solusi memprioritaskan untuk memilih jadwal penanaman yang optimal sesuai dengan kapan permintaan itu terjadi. Permintaan yang terjadi diluar periode tanam yang diperbolehkan untuk setiap tanaman mengakibatkan tingkat permintaan tidak dapat terpenuhi karena tidak adanya jadwal penanaman yang layak. Dapat disimpulkan bahwa ada hubungan antara kapan permintaan terjadi dengan jadwal penanaman yang layak. Permintaan tidak mampu dipenuhi saat tidak ada jadwal penanaman yang layak.
2. Tingkat permintaan berhubungan dengan kemampuan *Urban Farming Center* dalam mendesain sistem penjadwalan pembibitan dan penanaman yang optimal. Semakin tinggi tingkat permintaan maka semakin besar peluang untuk mendapatkan keuntungan.
3. Parameter yang paling sensitif berpengaruh terhadap keputusan yang dibuat model adalah produktivitas lahan pertanian. Dibandingkan dengan parameter lainnya produktivitas lahan memberi dampak yang paling besar terhadap keputusan yang dibuat model. Semakin tinggi nilai produktivitas suatu lahan pertanian maka akan semakin besar peluang lahan pertanian tersebut dipilih oleh model. Sebaliknya semakin rendah produktivitas lahan pertanian maka model cenderung tidak akan memilih lahan pertanian tersebut.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini dilakukan penarikan kesimpulan terhadap penelitian yang telah dilakukan serta pemberian saran bagi penelitian di bidang penjadwalan penanaman pada produk pertanian perkotaan berikutnya.

6.1 Kesimpulan

Dari percobaan dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Penelitian ini telah mengembangkan model penjadwalan penanaman mempertimbangkan rotasi tanaman pada produk pertanian perkotaan dengan mempertimbangkan karakteristik produk yang memiliki periode tanam berbeda-beda dan batasan ekologi.
2. Penelitian ini telah melakukan empat percobaan numerik dengan skenario perubahan tingkat permintaan, kapasitas lahan, dan produktivitas lahan. Dari parameter percobaan numerik tersebut diketahui bahwa penurunan produktivitas lahan keuntungan yang diperoleh *Urban Farming Center* serta kebijakan penjadwalan penanaman. Semakin tinggi nilai produktivitas suatu lahan pertanian maka akan semakin besar peluang lahan pertanian tersebut dipilih oleh model. Sebaliknya semakin rendah produktivitas lahan pertanian maka model cenderung tidak akan memilih lahan pertanian tersebut. Peningkatan dan penurunan tingkat permintaan berpengaruh signifikan terhadap keuntungan yang diperoleh. Semakin tinggi tingkat permintaan maka semakin besar peluang untuk mendapatkan keuntungan. Perubahan kapasitas lahan tidak memiliki pengaruh terhadap keuntungan yang diperoleh dan kebijakan penanaman. Kebijakan penanaman dipengaruhi oleh kapan permintaan terjadi. Permintaan yang terjadi diluar periode tanam yang diperbolehkan oleh setiap tanaman, maka tidak ada jadwal penanaman yang layak untuk memenuhi permintaan tersebut.



6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Dapat dipertimbangkan mekanisme *contract farming* antara *Urban Farming Center* dan petani dalam penentuan keputusan penanaman.
2. Dapat dipertimbangkan demand stochastic untuk lebih merepresentasikan kondisi nyata permasalahan.

DAFTAR PUSTAKA

Ahumada, O., Villalobos, J.R., 2011. *A Tactical Model For Planning The Production And Distribution Of Fresh Produce*. Ann. Oper. Res. 191 (1), 339–358

Alfandari L., Lemalade J.L., Nagih A., and Plateau G., 2011. *A MIP Flow Model for Crop Rotation Planning in a Context of Forest Sustainable Development*. Annals of Operations Research Vol. 190: 149-164

Aramyan, H. Lusine, Lansink, G.F.M. Alfons, Vorst G.A.J. Jack, and Kooten van Olaf. 2007. *Performance Measurement in Agri-food Supply Chains: A Case Study*. An International Journal of Supply Chain Management Vol.12 (4), 304-315

Chandrasekaran, N., Raghuram, G., 2014. *Agribusiness Supply Chain Management*. Taylor & Francis Group. London.

Ekawati, Ida. 2009. *Prospek Budidaya Kedelai Sistem Organik di Kabupaten Sumenep*. Journal of Agritek Vol. 10 No.2.

Iakovou, E., Vlachos, D., Achillas, C., & Anastasiadis, F. 2012. *A Methodological Framework for the Design of Green Supply Chains For The Agrifood Sector*. Working paper.

Jaffee, S., Siegel, P., & Andrews, C. (2010). *Rapid Agricultural Supply Chain Risk Assessment: A Conceptual Framework* (Agriculture and Rural Development Discussion Paper 47). Washington D.C.,US: The World Bank.

Lowe, T.J., Preckel, P.V., 2004. *Decision Technologies For Agribusiness Problems: A Brief Review Of Selected Literature And A Call For Research*. Manuf. Serv. Oper. Manage. Vol.6 (3): 201–208.

Marimin, Taufik, dan Suharjitno. 2011. Sistem Pengambilan Keputusan Cerdas untuk Peningkatan Efektivitas dan Efisiensi Manajemen Rantai Pasok Komoditi Pertanian dan Produk Agroindustri.

Osvold, A., Stirn, L.Z., 2008. *A Vehicle Routing Algorithm for the Distribution of Fresh Vegetables and Similar Perishable Food*. Journal of Food Engineering, 85, 285-295.

Santos L.M.R., Michelon P., Aranales M.N., and Santos R.H.S. 2010. *Sustainable Vegetable Crop Supply Problem*. European Journal of Operation Research Vol. 204: 639-647.

Santos L.M.R., Michelon P., Aranales M.N., and Santos R.H.S., 2011. *Crop Rotation Schedulling With Adjacency Constraints*. Annals of Operations Research Vol. 190 (1): 165-180.

Suryandari, R.Y. 2010. Pengembangan Pertanian Perkotaan: Impian Mewujudkan Kota yang Berkelanjutan. Jurnal Planesa Vol.1 (2):106-112

Tan, B. dan Comden, N. 2012. *Agricultural planning of annual plants under demand, maturation, harvest, and yield risk*. European Journal of Operational Research 220, 539–549

Tsolakis N.K., Keramydas C.A., Toka A.K., Aidonis D.A., dan Iakovou E.T. 2014. *Agrifood Supply Chain Management: A Comprehensive Hierarchical Decision-Making Framework and A Critical Taxonomy*. Journal of Biosystem Engineering Vol. 120: 47-64

Van der Vorst, J. G. A. J., Tromp, S.-O., & Van der Zee, D.-J. 2009. *Simulation Modelling For Food Supply Chain Redesign: Integrated Decision Making On Product Quality, Sustainability And Logistics*. International Journal of Production Research, 47: 6611-6631.

LAMPIRAN

Contoh Jadwal Penanaman Hasil *Running* LINGO

1. Jadwal pembibitan

<i>i</i>	<i>t</i>								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0	214
2	0	0	0	320	320	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

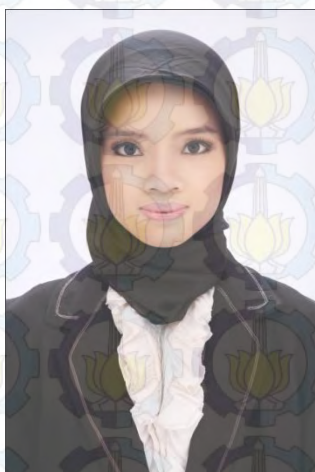
2. Jadwal panen

<i>k</i>	<i>i</i>	<i>t</i>								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	0	0	101	201	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	301	301	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3. Jadwal tanam

<i>k</i>	<i>i</i>	<i>T</i>								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	203	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	304	304	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Virhanty Ernita Sukma P, dilahirkan di Kupang pada tanggal 30 Juli 1989 dari ayah yang bernama Agus Sukmadjaja dan ibu Novita Satya Samayanti. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN Sidokare 2 Sidoarjo pada tahun 2001. Pada tahun 2004 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama di SLTPN 4 Sidoarjo. Kemudian di tahun yang sama, penulis melanjutkan ke SMA Negeri 2 Sidoarjo, dan dinyatakan lulus pada tahun 2007.

Pada tahun 2012 penulis berhasil meraih gelar Sarjana Teknologi Pertanian setelah menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang. Selama menempuh pendidikan di Universitas Brawijaya, penulis pernah menjadi Asisten Praktikum Manajemen Operasional di Laboratorium Manajemen Agroindustri. Selain itu penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknologi Industri Pertanian (HIMATITAN) sebagai staf Bidang 2 (Bidang Pengembangan diri dan Keprofesian) di tahun 2009/2010. Pada tahun 2015 penulis berhasil menyelesaikan Tesis dengan judul “Pengembangan Model Penjadwalan Penanaman Mempertimbangkan Rotasi Tanaman pada Produk Pertanian Perkotaan”. Bagi pembaca yang ingin berkorespondensi dengan penulis dapat melalui email virasukma@gmail.com.